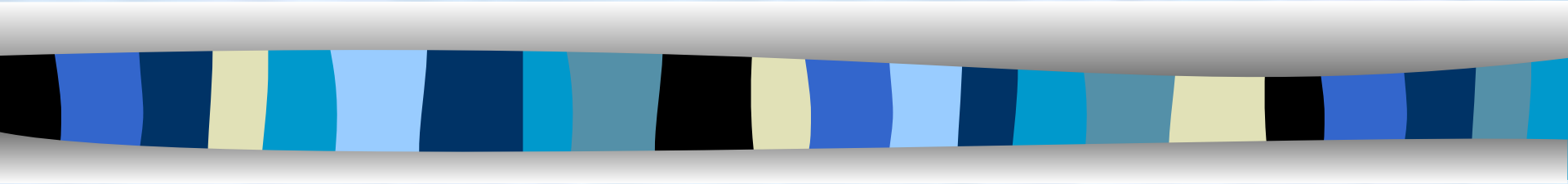
Тема 3. Технологии локальных сетей



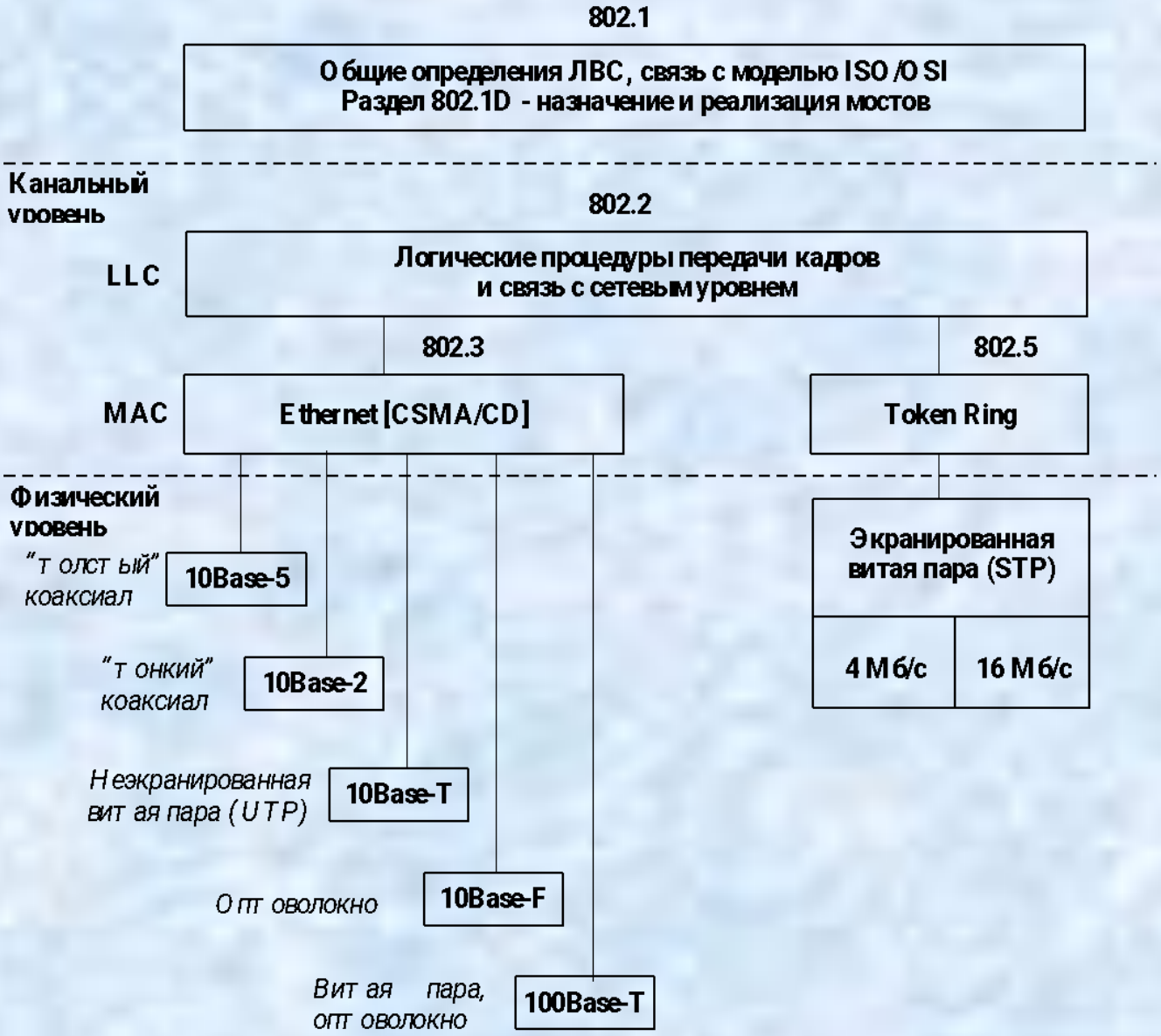
- Ethernet
- Token Ring, FDDI
- Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN
- Gigabit Ethernet

Технологии локальных сетей

Ethernet, Token Ring, FDDI, 100VG-AnyLAN, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet
– много общего:

- Расстояния между узлами сети: 100 м – 2000 м
- Единый формат адреса – 6 байт, уникальность обеспечивается производителем сетевого адаптера
- Разделяемая среда для конечных узлов (компьютеров) – использование методов доступа Media Access Control (MAC)
- Качественные кабели для связи компьютеров:
  - Высокая скорость протоколов – 10, 16, 100, 1000 Мбит/с
  - Простая логика протоколов – без восстановления потерянных и искаженных кадров, так как эти события крайне редки

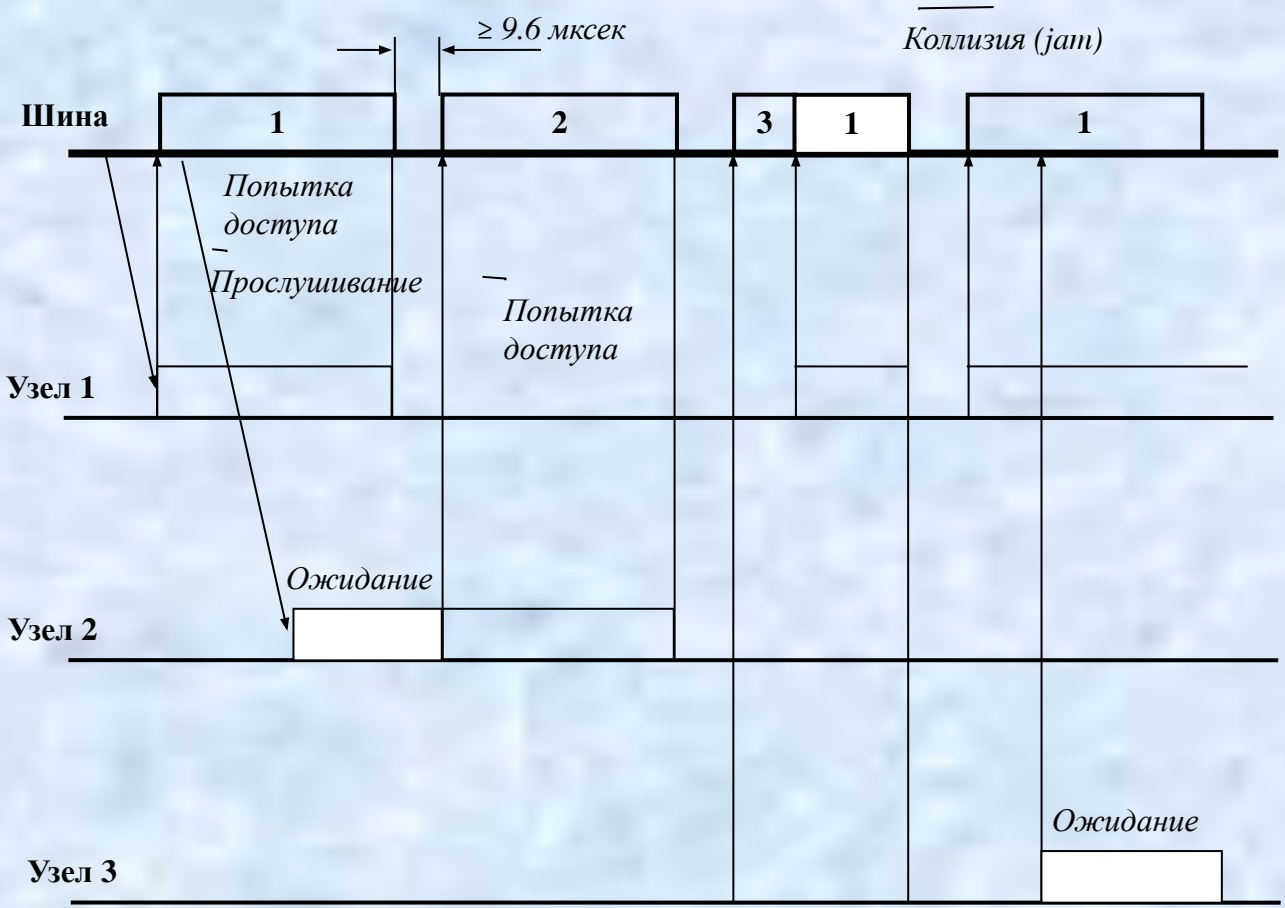
Структура стандартов локальных сетей



Методы доступа к физической среде (уровень MAC)

Метод случайного доступа Ethernet

Ориентирован на среду типа “общая шина”

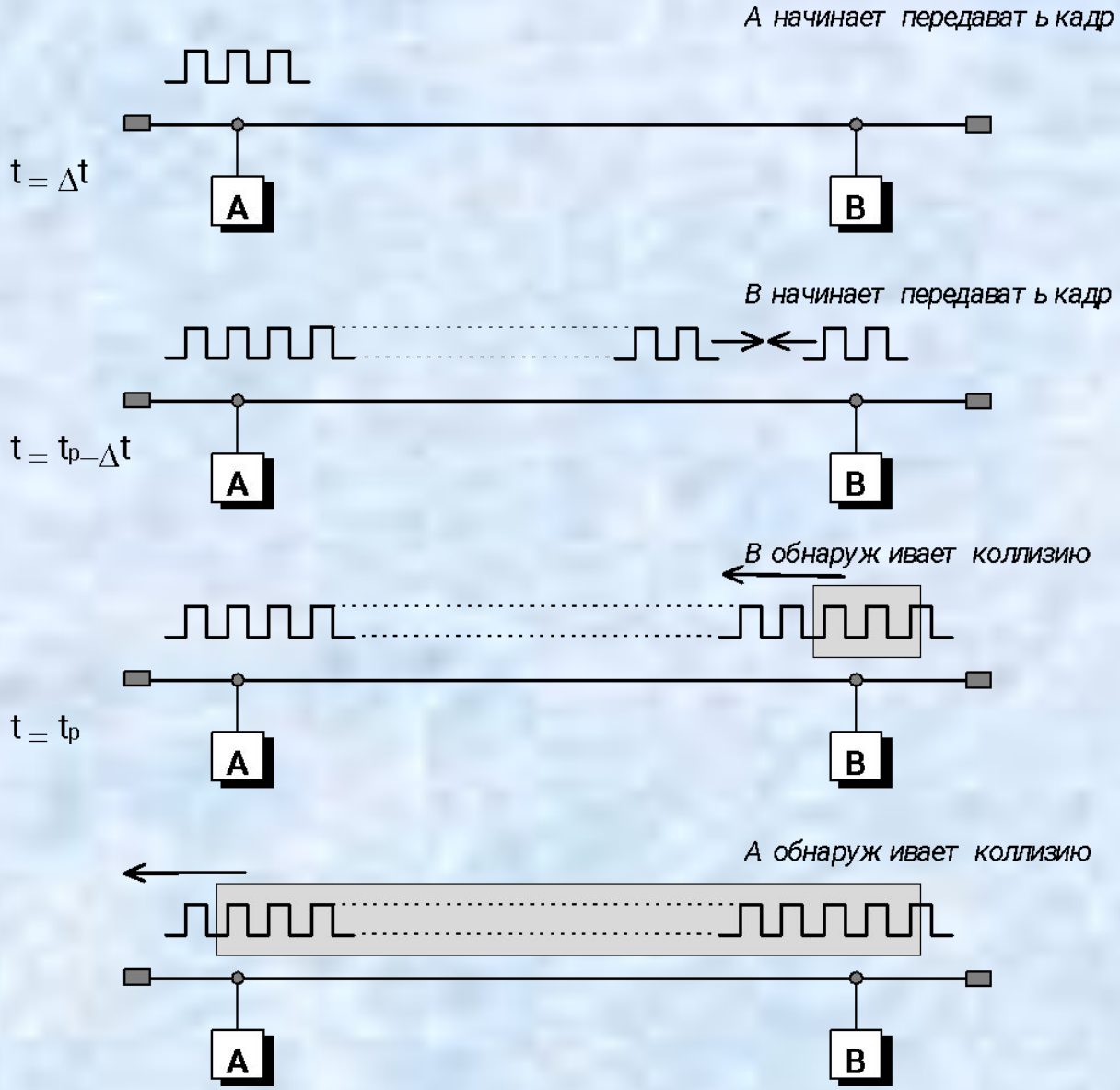


Пауза = L × Интервал отсрочки

L → [0, 2^N], N - номер попытки, N ≤ 10

Пауза = [0, 1024 × $T_{отсрочки}$] = [0, 524288] = [0мкс, 0.52с]

Возникновение коллизии



t_p - задержка распространения сигнала между станциями A и B

Особенности случайного метода доступа Ethernet (CSMA/CD – Carrier Sense Multiply Access with Collision Detection)

Преимущества:

- *простой алгоритм ⇒ дешевая и надежная аппаратура*
- *возможность широковещательной передачи пакетов*

Недостатки:

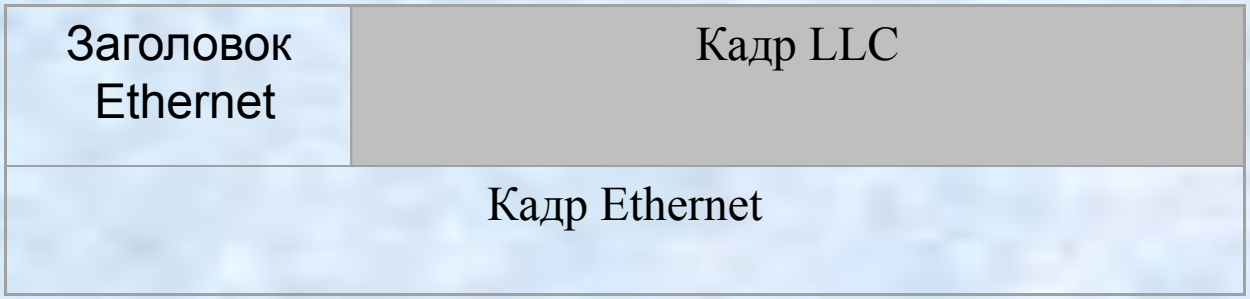
- *большие потери из-за коллизий и ожиданий при нагрузке сети > 50 %*

- *ограниченная длина сети:*
  2 × (время распространения сигнала между узлами) ≤ время передачи кадра – иначе коллизия может быть не связана с передачей своего кадра!

Основные параметры протокола Ethernet

• Битовая скорость	10Мб/с
• Интервал отсрочки	512 бит
• Межкадровый интервал	9.6 мкс
• Максимальное число попыток передачи	16
• Максимальное число возрастания диапазона паузы	10
• Длина jam-последовательности	32 бита
• Максимальная длина кадра (без преамбулы)	1518 байт
• Минимальная длина кадра (без преамбулы)	64 байта (512 бит)

Протокол LLC уровня управления логическим каналом (802.2)



Три типа процедур LLC:

- LLC1 - сервис без установления соединения и без подтверждения;
- LLC2 - сервис с установлением соединения и подтверждением;
- LLC3 - сервис без установления соединения, но с подтверждением.

Процедура с восстановлением кадров LLC2

Три типа кадров:

- Информационные – передача данных вместе с квитанциями
- Управляющие – команды и ответы в соединении
  - *Отказ (REJect)*
  - *Приемник не готов (Receiver Not Ready, RNR)*
  - *Приемник готов (Receiver Ready, RR)*
- Ненумерованные – установление соединения

Флаг 01111110	Адрес точки входа сервиса назначения (DSAP)	Адрес точки входа сервиса источника (SSAP)	Управляющее поле (Control)	Данные (Data)	Флаг 01111110

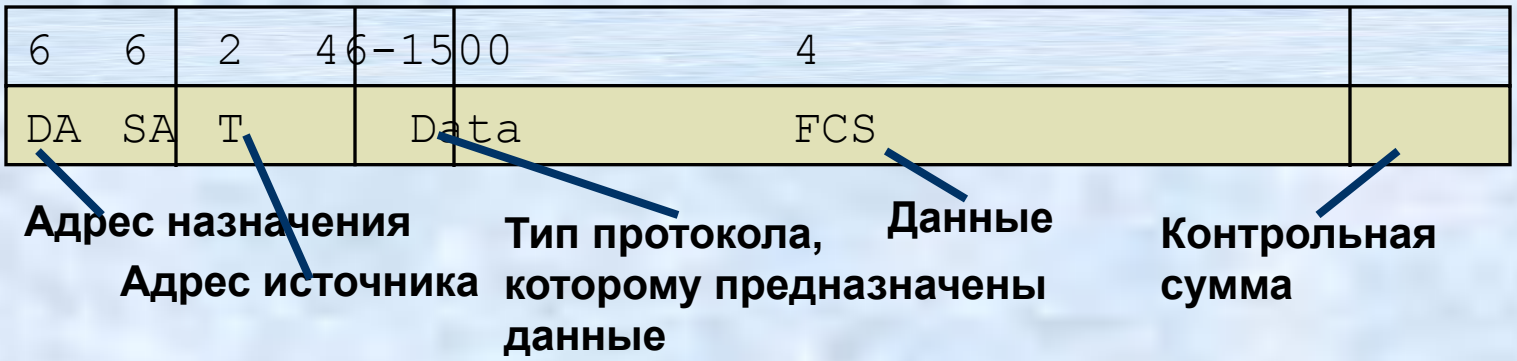
Процедура с восстановлением кадров LLC2

Структура поля управления

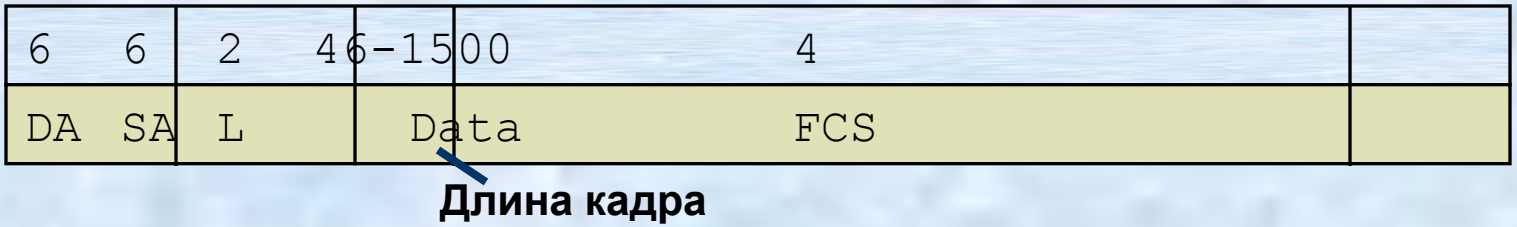
Тип кадра	Разряды поля управления																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Информационный (Information)	0	**N(S)**							P / F	**N(R)**							
Супервизорный (Supervisory)	1	0	S		-	-	-	-	P / F	**N (R)**							
Ненумерованный (Unnumbered)	1	1	M		P/F	M											

Форматы кадров Ethernet

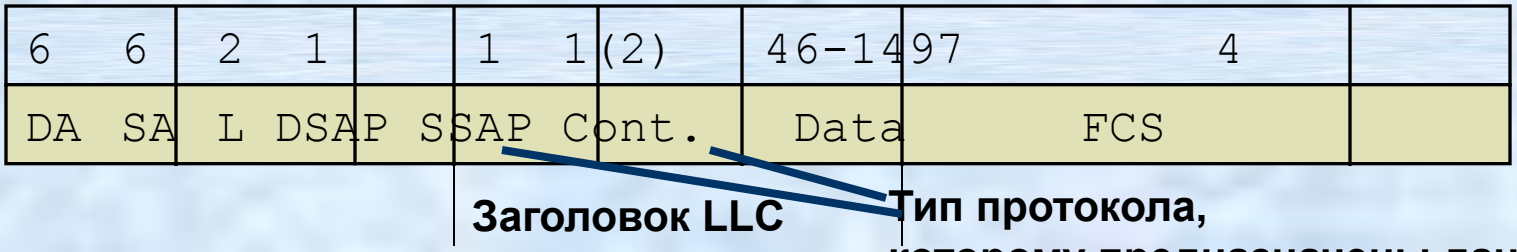
Кадр Ethernet DIX (II)



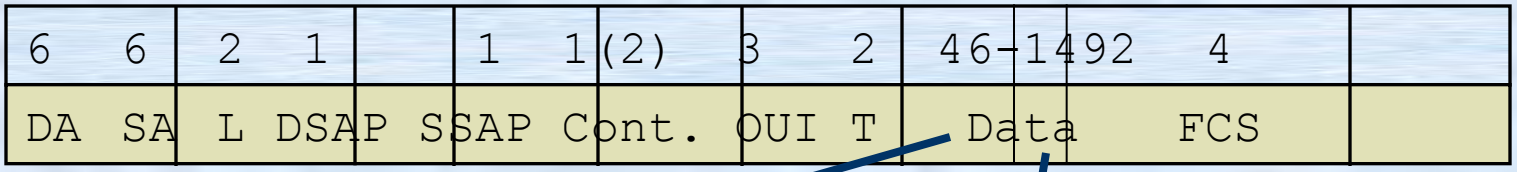
Кадр Novell 802.3/ Raw 802.3



Кадр 802.3/ LLC – стандарт IEEE



Кадр Ethernet SNAP – универсальный



Код организации, стандартизующей значения поля T,

Код IEEE – 00 00 00

Тип протокола, которому предназначены данные

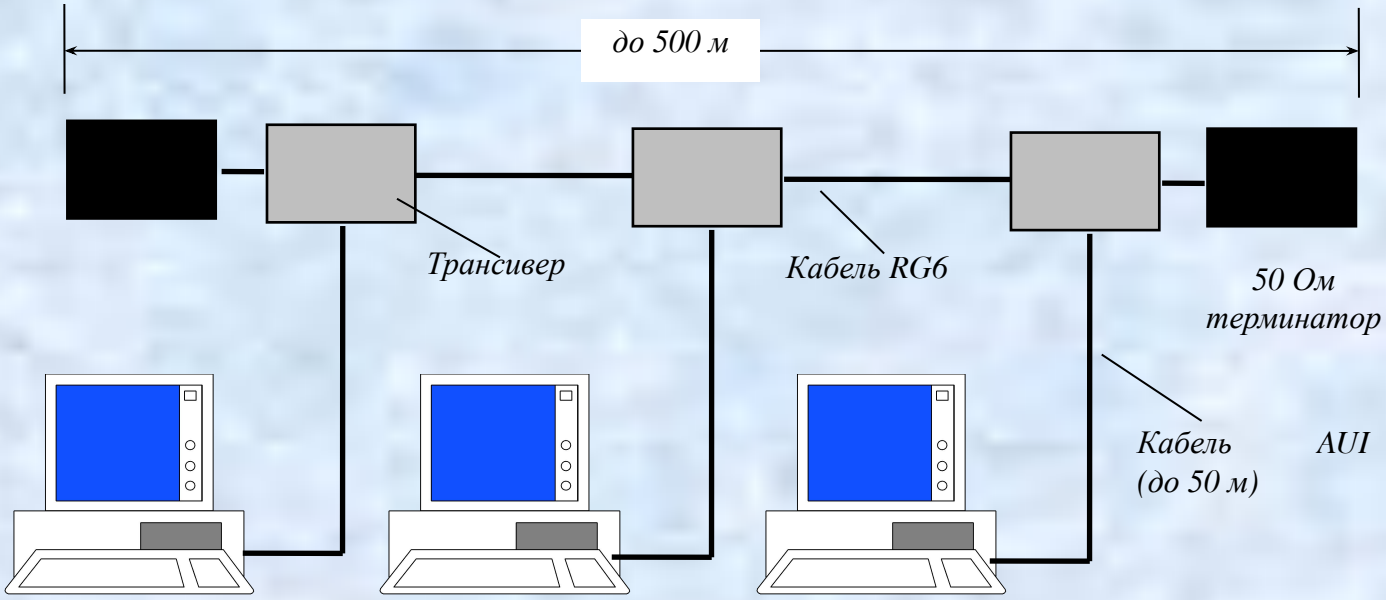
Типы адресов Ethernet

- индивидуальный - unicast (0 в старшем разряде)
- широковещательный - broadcast (11....1111)
- групповой - multicast (10.....)

Использование кадров Ethernet различными стеками протоколов

Тип кадра	Сетевые протоколы
Ethernet II	IPX, IP, AppleTalk Phase I
Ethernet 802.3	IPX
Ethernet 802.2	IPX, FTAM
Ethernet SNAP	IPX, IP, AppleTalk Phase II

Сеть Ethernet 10 Base-5



<= 100 станций в сегменте

Достоинства:

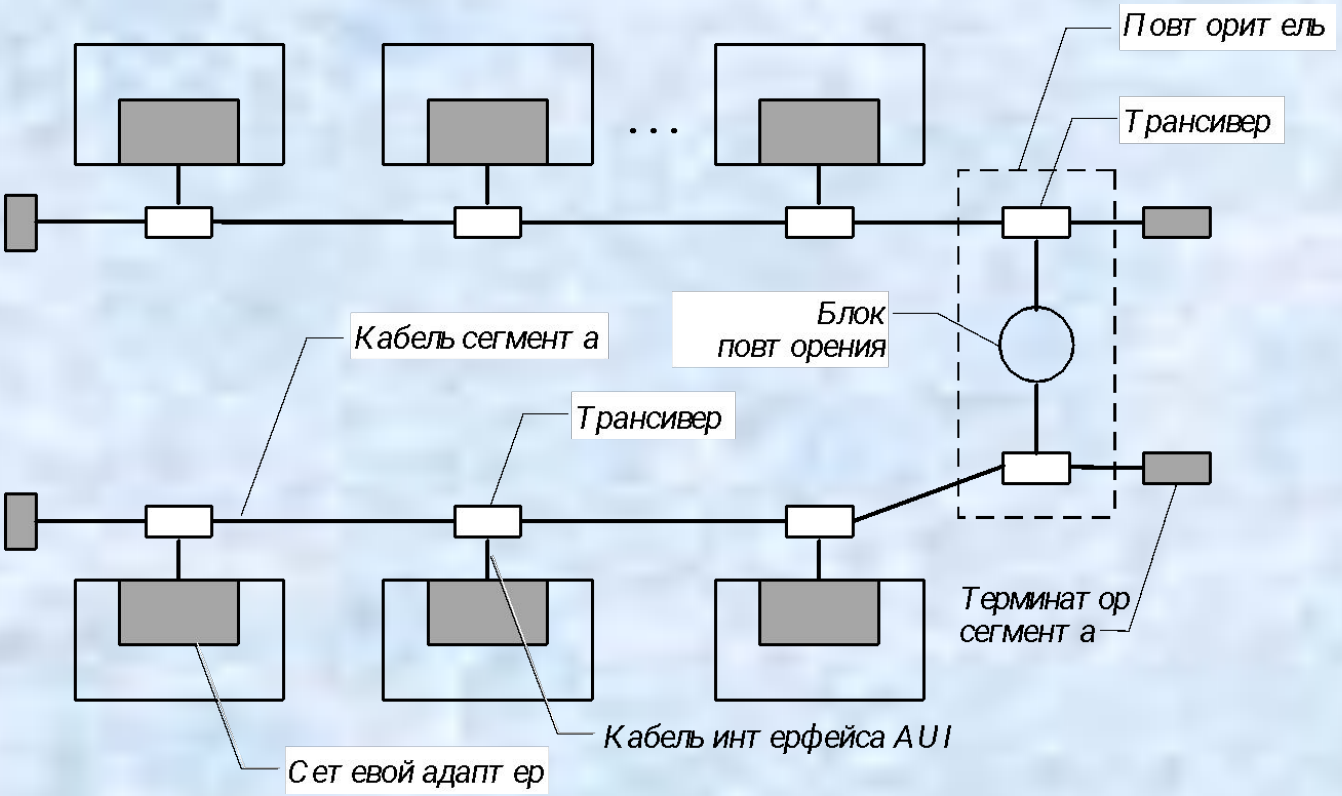
- хорошая защищенность кабеля от внешних воздействий
- сравнительно большое расстояние между узлами

возможность простого перемещения рабочей станции в пределах длины кабеля AUI

Недостатки:

- высокая стоимость кабеля
- сложность его прокладки из-за большой жесткости

Многосегментная сеть Ethernet 10 Base-5



Правило 5-4-3

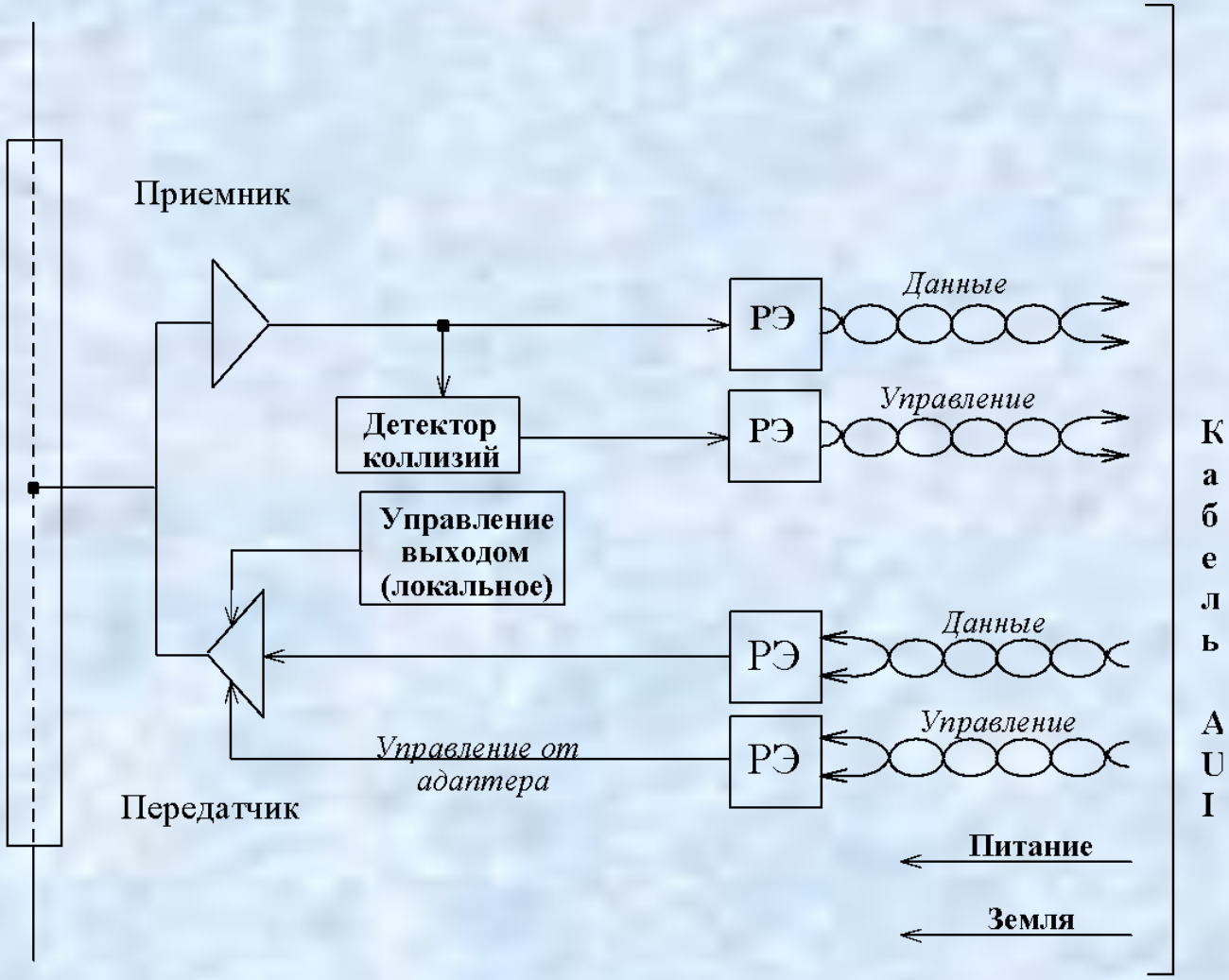
Максимум: 5 сегментов (5 x 500 м = 2500 м)

4 повторителя

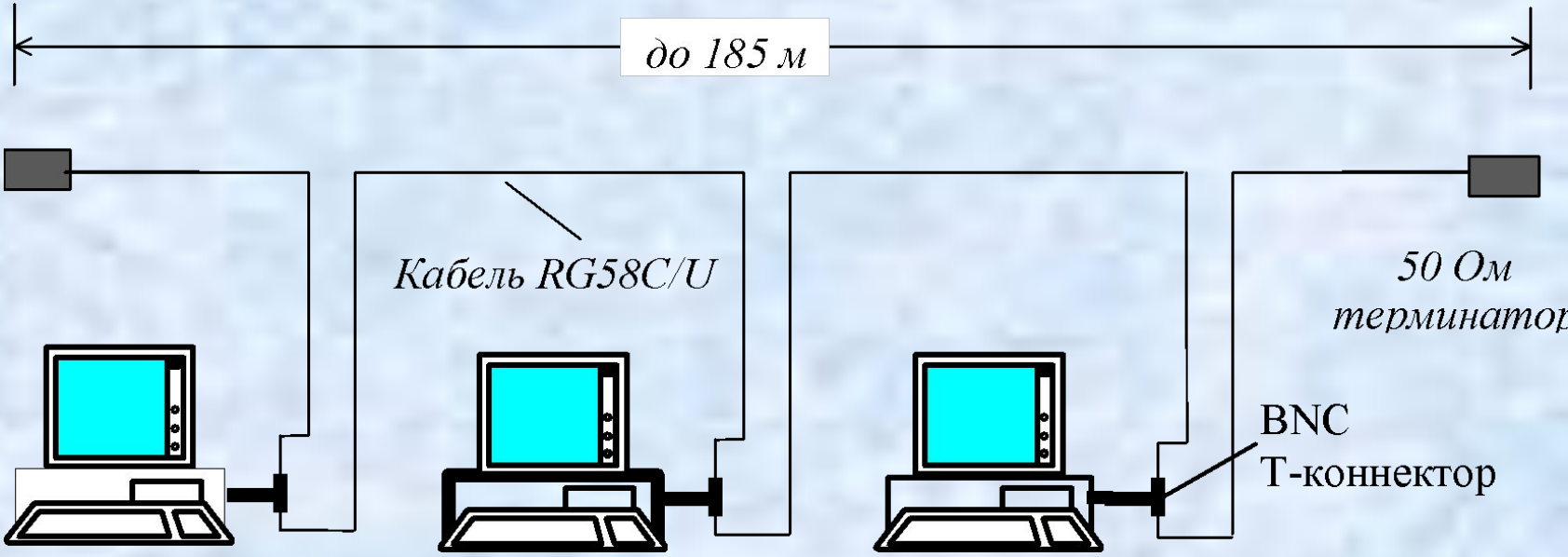
3 нагруженных сегмента

99 x 3 = 297 станций

Структура сетевого адаптера 10 Base-5 Ethernet



Сеть Ethernet 10 Base-2



Достоинства:

<= 30 станций в сегменте

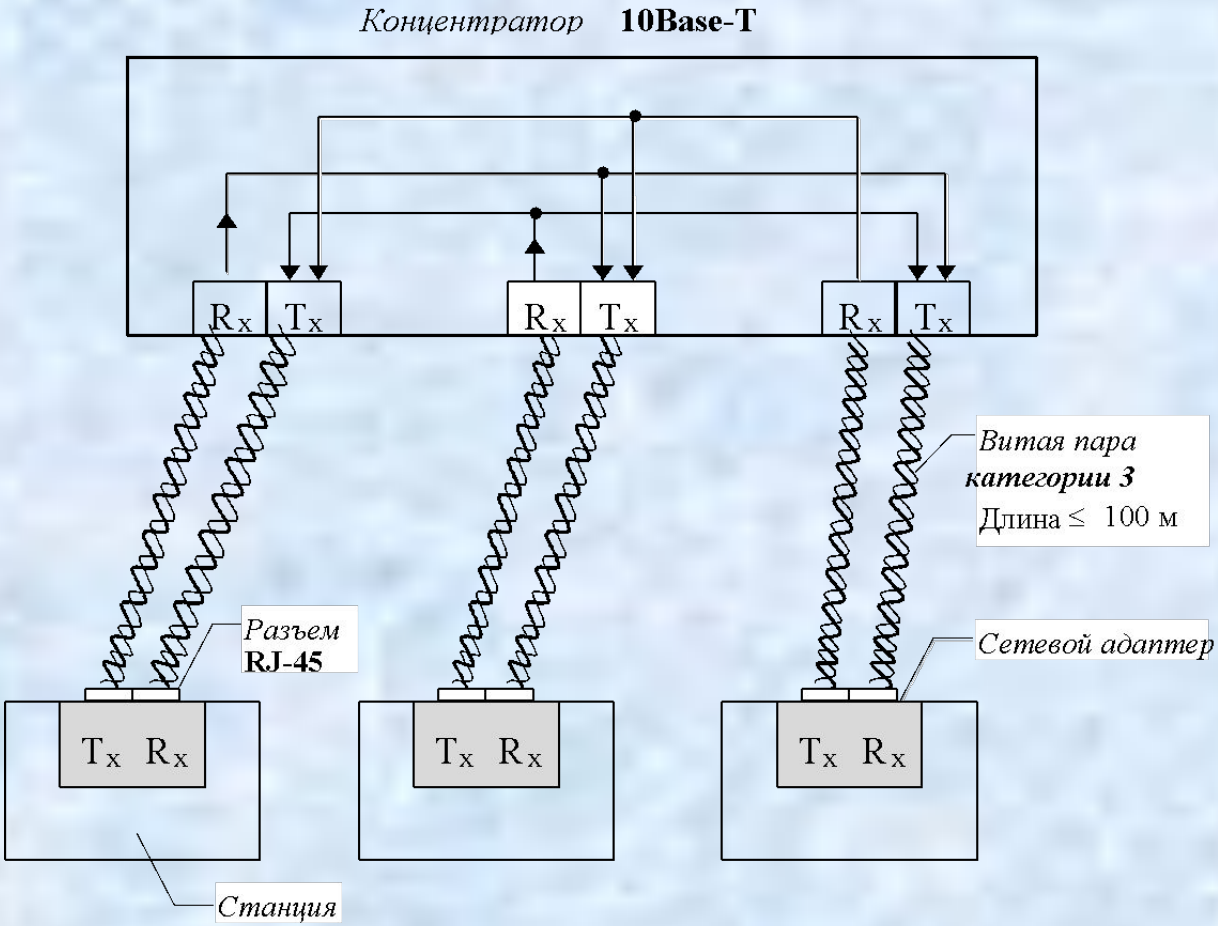
- простота инсталляции и модификаций сети
- дешевый кабель

Недостатки:

- большое количество контактов – частые отказы сети в целом
- сложность обнаружения нарушений физической целостности

высокая стоимость эксплуатации сети

Сеть Ethernet 10 Base-T



Максимальный диаметр сети: 2500 м

Сети Ethernet 10 Мбит/с на оптическом волокне

Максимальный диаметр сети: 2500 м

Стандарт FOIRL (Fiber Optic Inter-Repeater Link)

– первый стандарт комитета 802.3 для использования оптоволокна в сетях Ethernet.

- Максимальное число повторителей между узлами осталось равным 4
- Длина оптоволоконной связи между повторителями - до 1 км

Стандарт 10Base-FL - незначительное улучшение стандарта FOIRL.

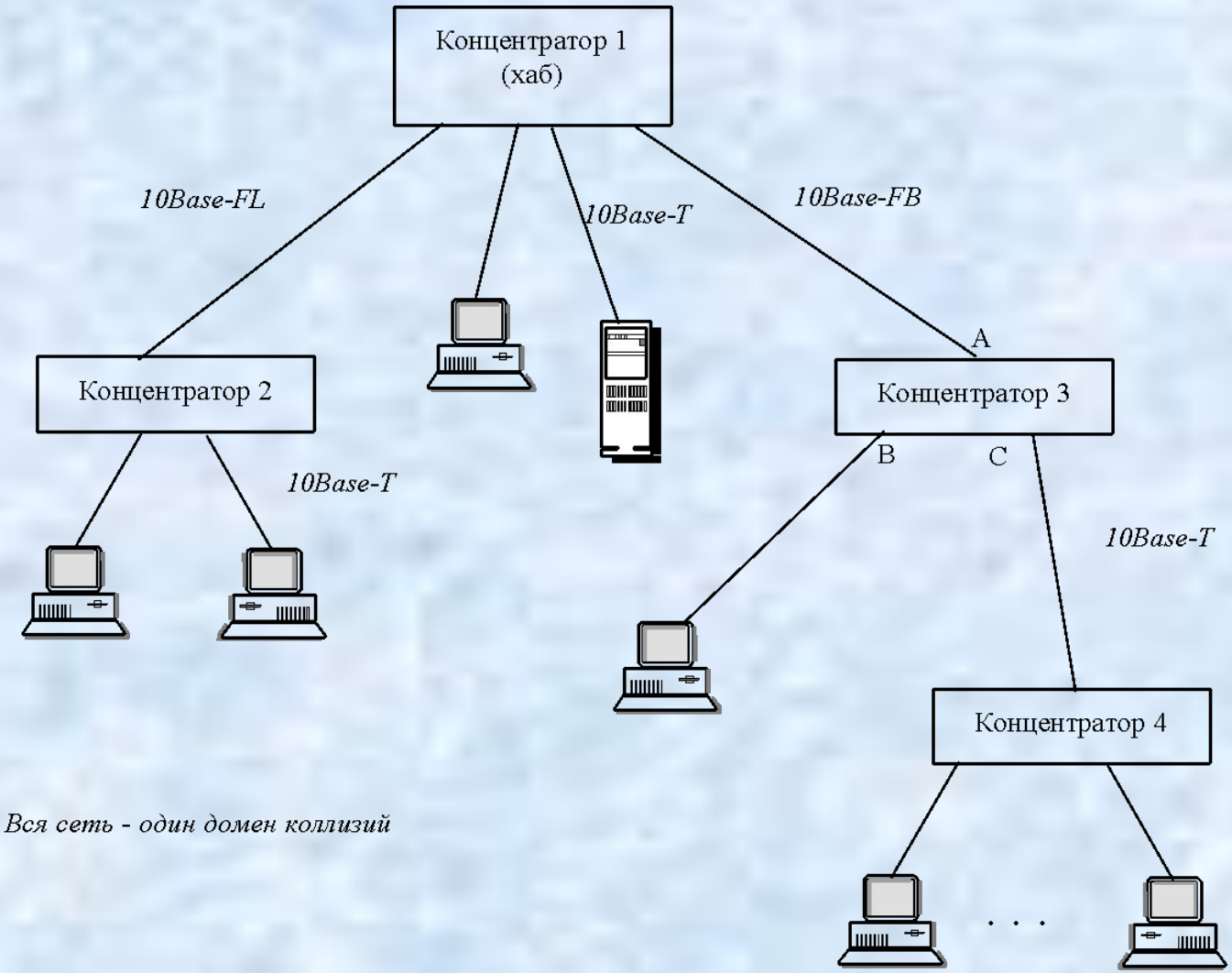
Увеличена мощность передатчиков, расстояние между узлом и концентратором увеличилось до 2000 м.

Стандарт 10Base-FB - предназначен только для соединения повторителей. Между узлами сети можно установить до 5 повторителей 10Base-FB Максимальная длина одного сегмента 2740 м

Параметры спецификаций физического уровня для стандарта Ethernet 10 Мбит/с

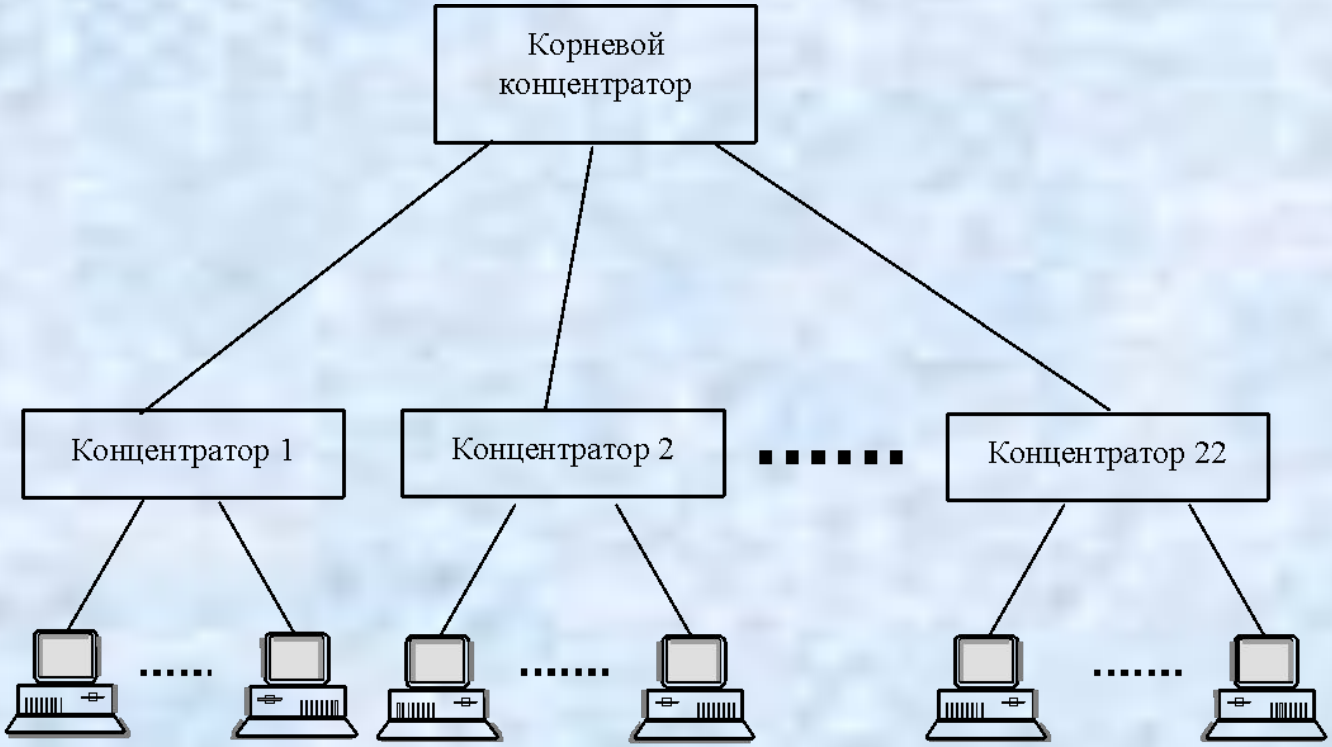
	10Base-5	10Base-2	10Base-T	10Base-F
Кабель	толстый коаксиальный кабель RG-8 или RG-11	тонкий коаксиальный кабель RG-58	неэкраниро-ванная витая пара UTP Cat3,4,5	многомодовый волоконно-оптический кабель
Максимальная длина сегмента	500 м	185 м	100 м	2000 м
Максимальное расстояние между узлами сети (при использовании повторителей)	2500 м	925 м	500 м	2500 м (2740 м для 10Base-FB)
Максимальное число станций в сегменте	100	30	1024	1024
Максимальное число повторителей между любыми станциями сети	4	4	4	4 (5 для 10 Base-FB)

Иерархическое соединение концентраторов Ethernet



Вся сеть - один домен коллизий

Максимизация количества узлов в сети Ethernet на концентраторах

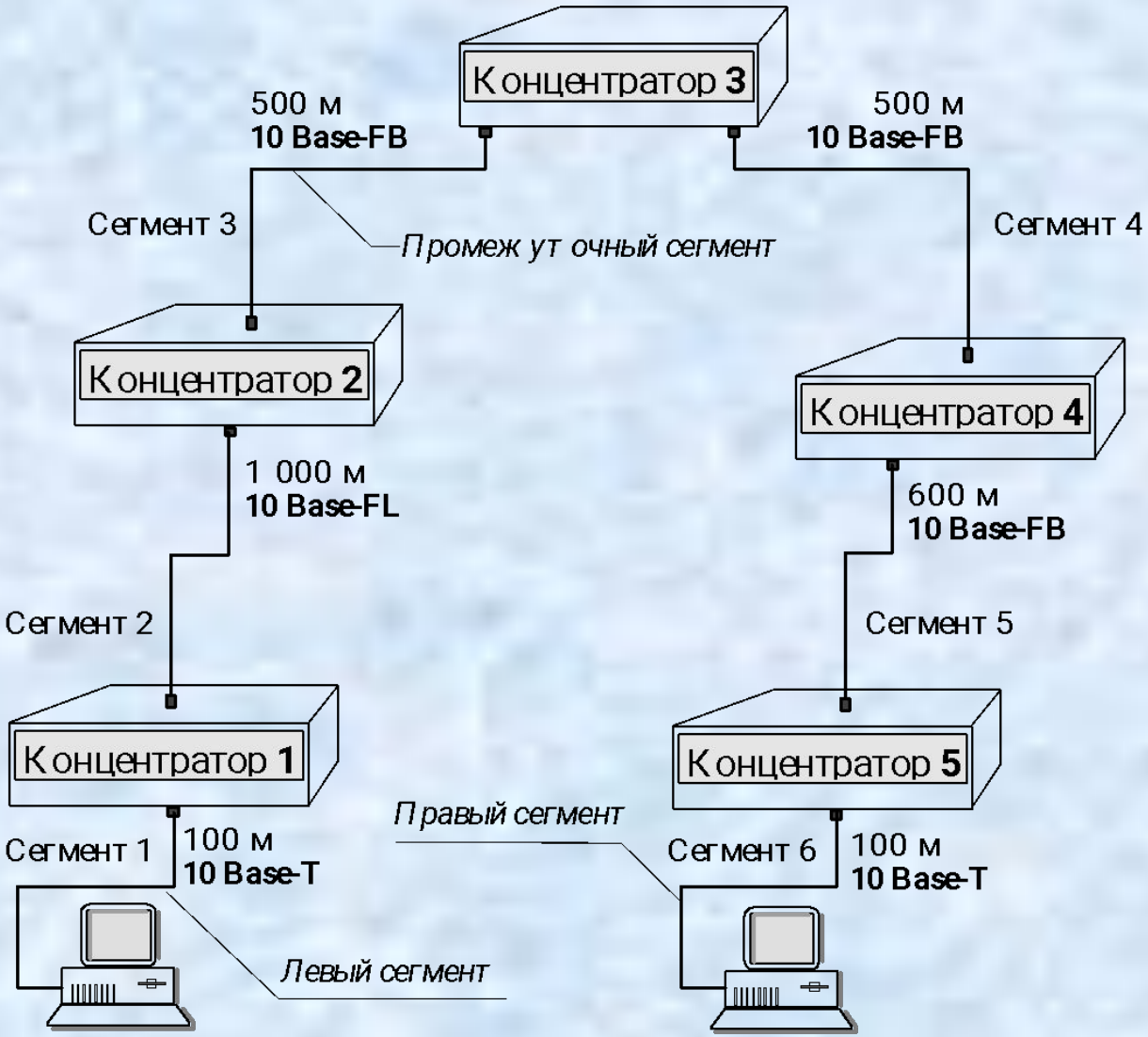


Методика расчета сетей Ethernet 10 Мбит/с

Условия корректности сети:

- **Количество станций в сети не превышает 1024**
- **Максимальная длина каждого физического сегмента не превышает величины, определенной в соответствующем стандарте физического уровня**
- **Время двойного оборота сигнала (Path Delay Value, PDV) между двумя самыми удаленными друг от друга станциями сети не превышает 575 битовых интервалов.**
- **Сокращение межкадрового расстояния IPG (Path Variability Value, PVV) при прохождении последовательности кадров через все повторители должно быть не больше, чем 49 битовых интервалов.**

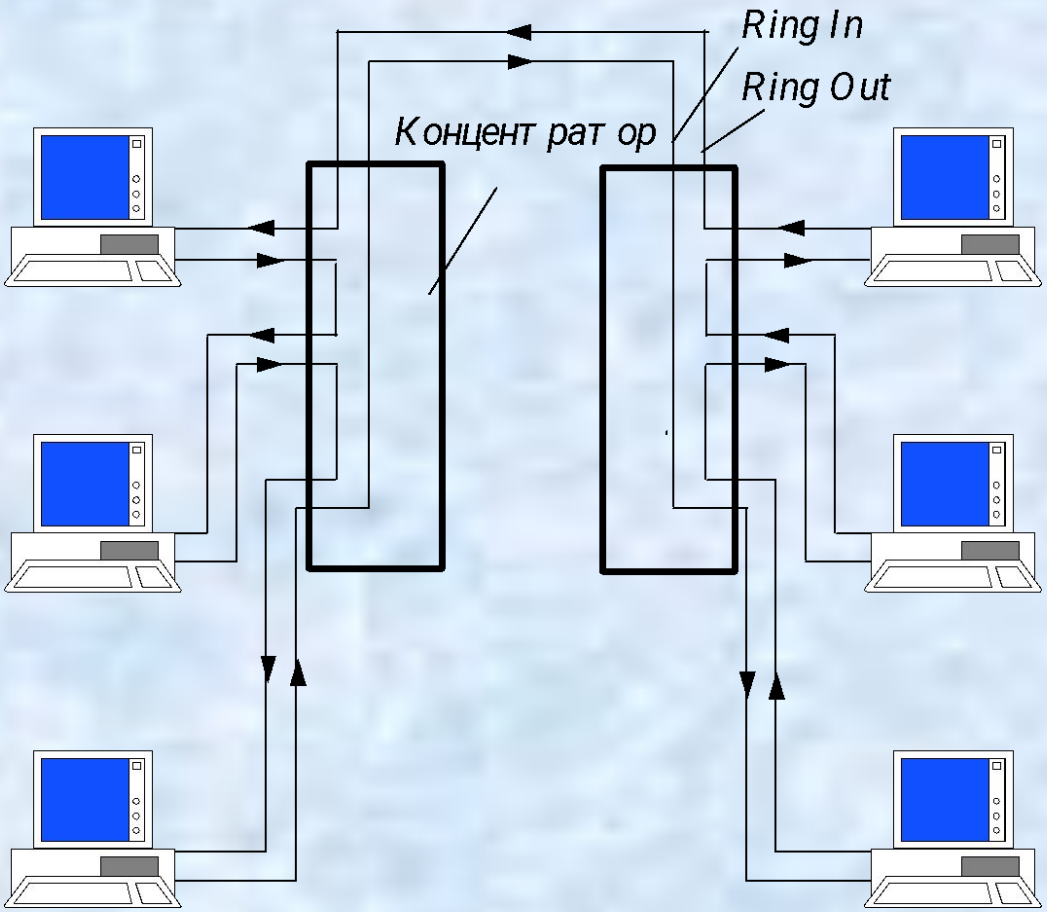
Методика расчета сетей Ethernet 10 Мбит/с



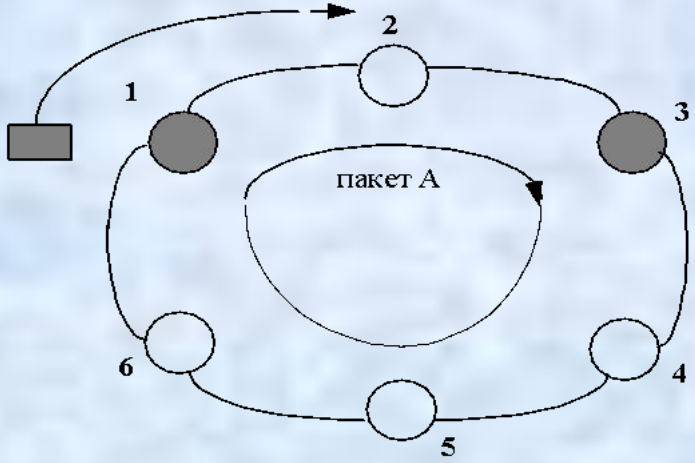
Данные для расчета значения PDV

Тип сегмента	**База левого сегмента (bt)**	**База промежуточного сегмента (bt)**	**База правого сегмента (bt)**	**Задержка среды на 1 м (bt)**	**Максимальная длина сегмента (м)**
10Base-5	11.8	46.5	169.5	0.0866	500
10Base-2	11.8	46.5	169.5	0.1026	185
10Base-T	15.3	42.0	165.0	0.113	100
10Base-FB	—	24.0	—	0.1	2000
10Base-FL	12.3	33.5	156.5	0.1	2000
FOIRL	7.8	29.0	152.0	0.1	1000
AUI (> 2 м)	0	0	0	0.1026	2+48

Технология Token Ring



Метод маркерного доступа

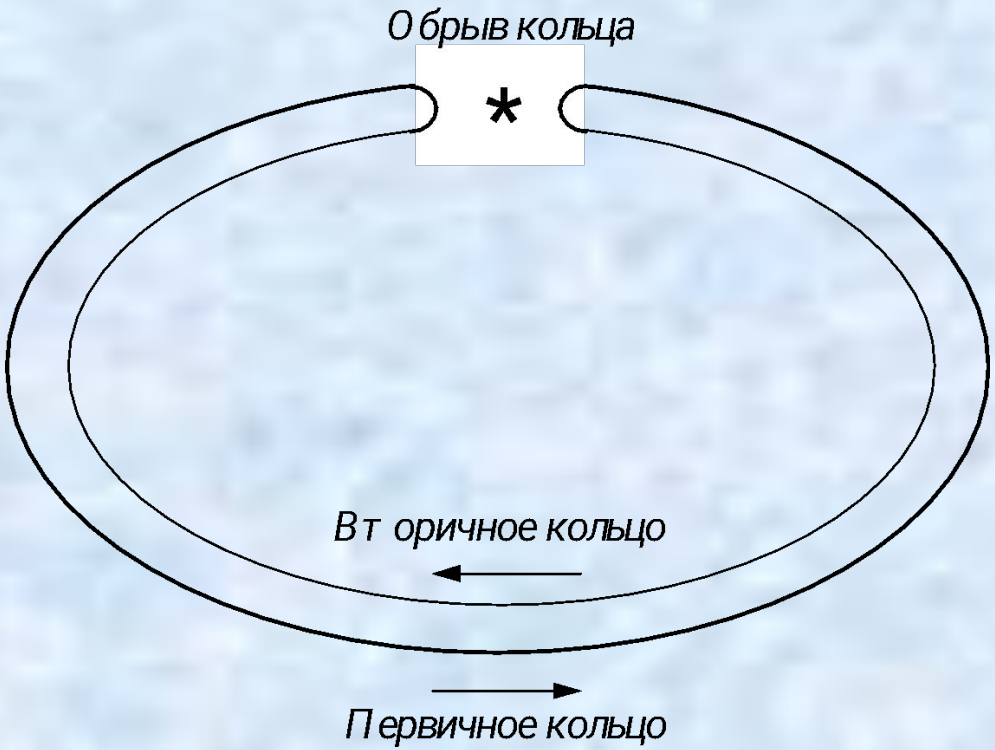


Технология FDDI
(Fiber Distributed Data Interface)

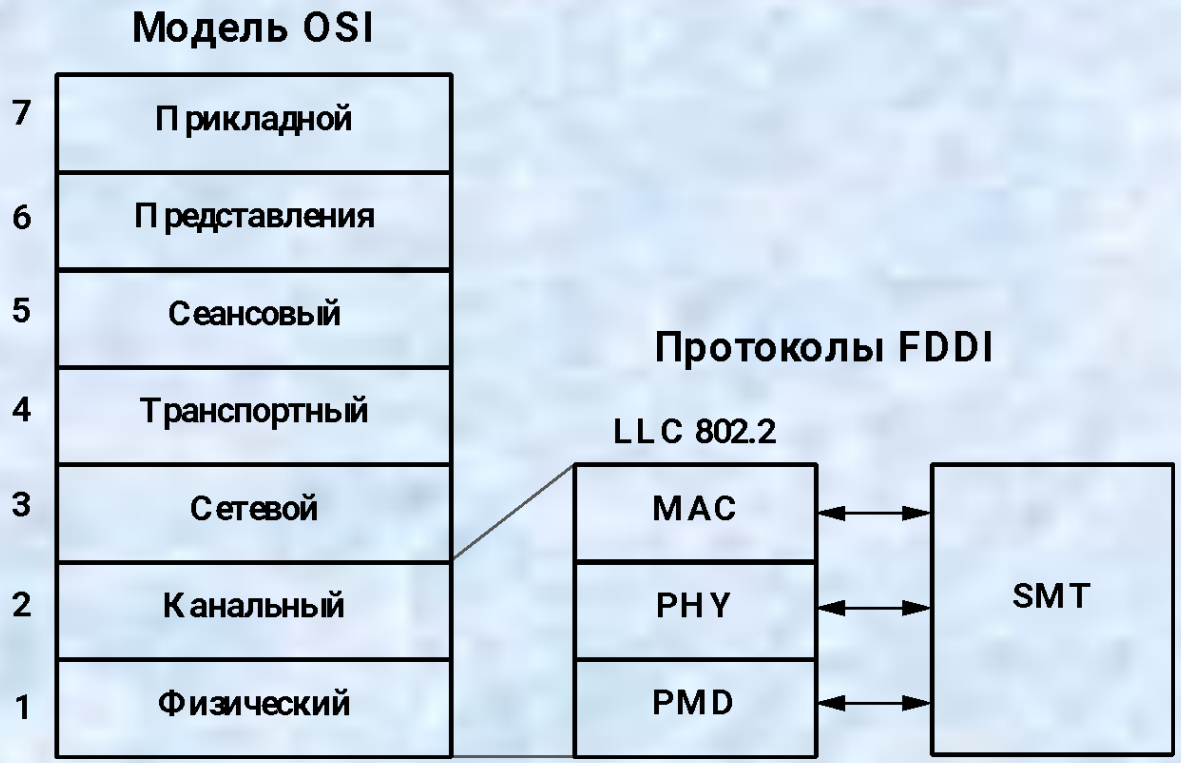
Цели разработчиков технологии:

- Повысить битовую скорость передачи данных до 100 Мб/с.
- Повысить отказоустойчивость сети за счет стандартных процедур восстановления ее после отказов различного рода - повреждения кабеля, некорректной работы узла, концентратора, возникновения высокого уровня помех на линии и т.п.
- Максимально эффективно использовать потенциальную пропускную способность сети как для асинхронного, так и для синхронного (чувствительного к задержкам) трафиков.

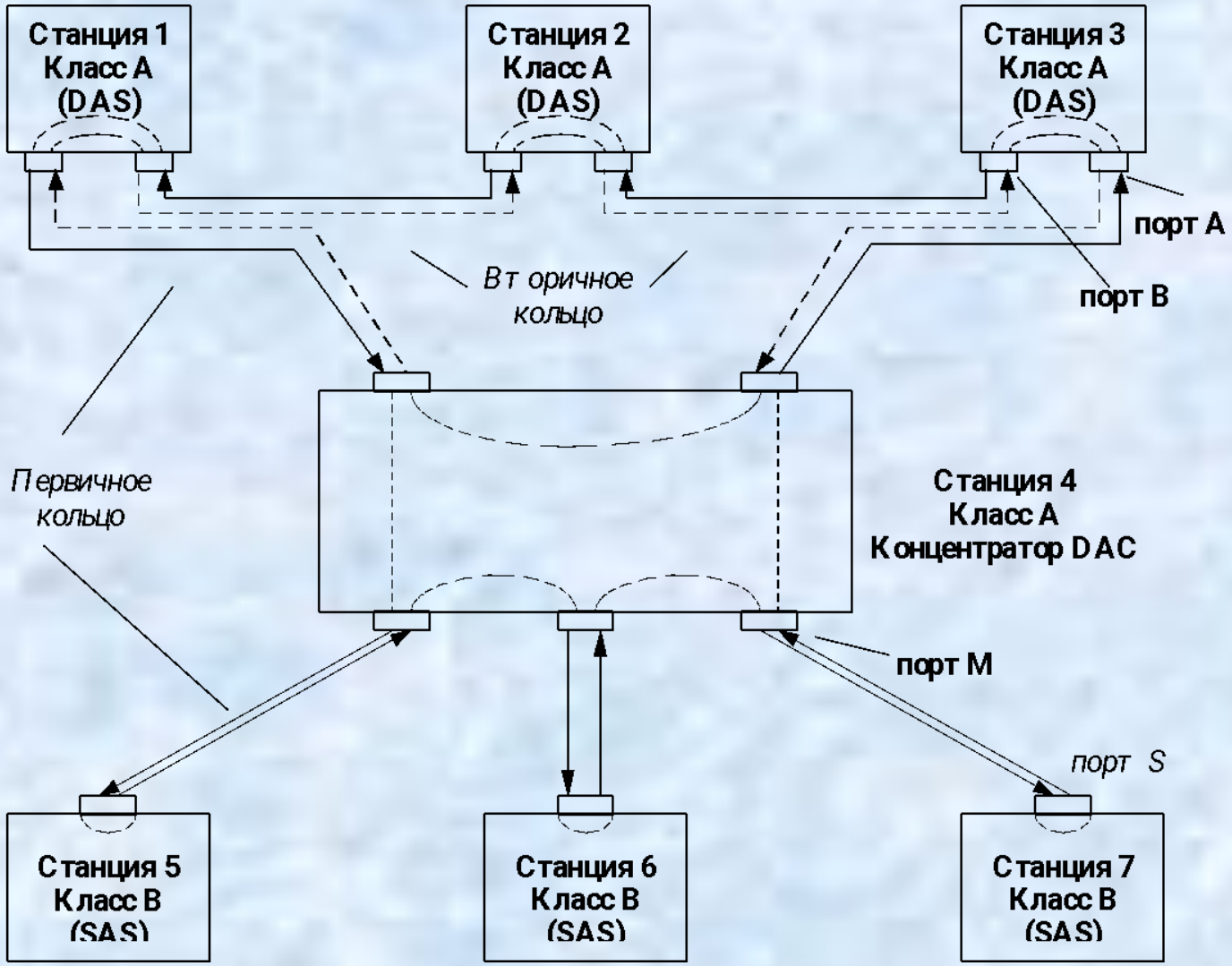
Использование кольцевой топологии для реакции на отказ/обрыв



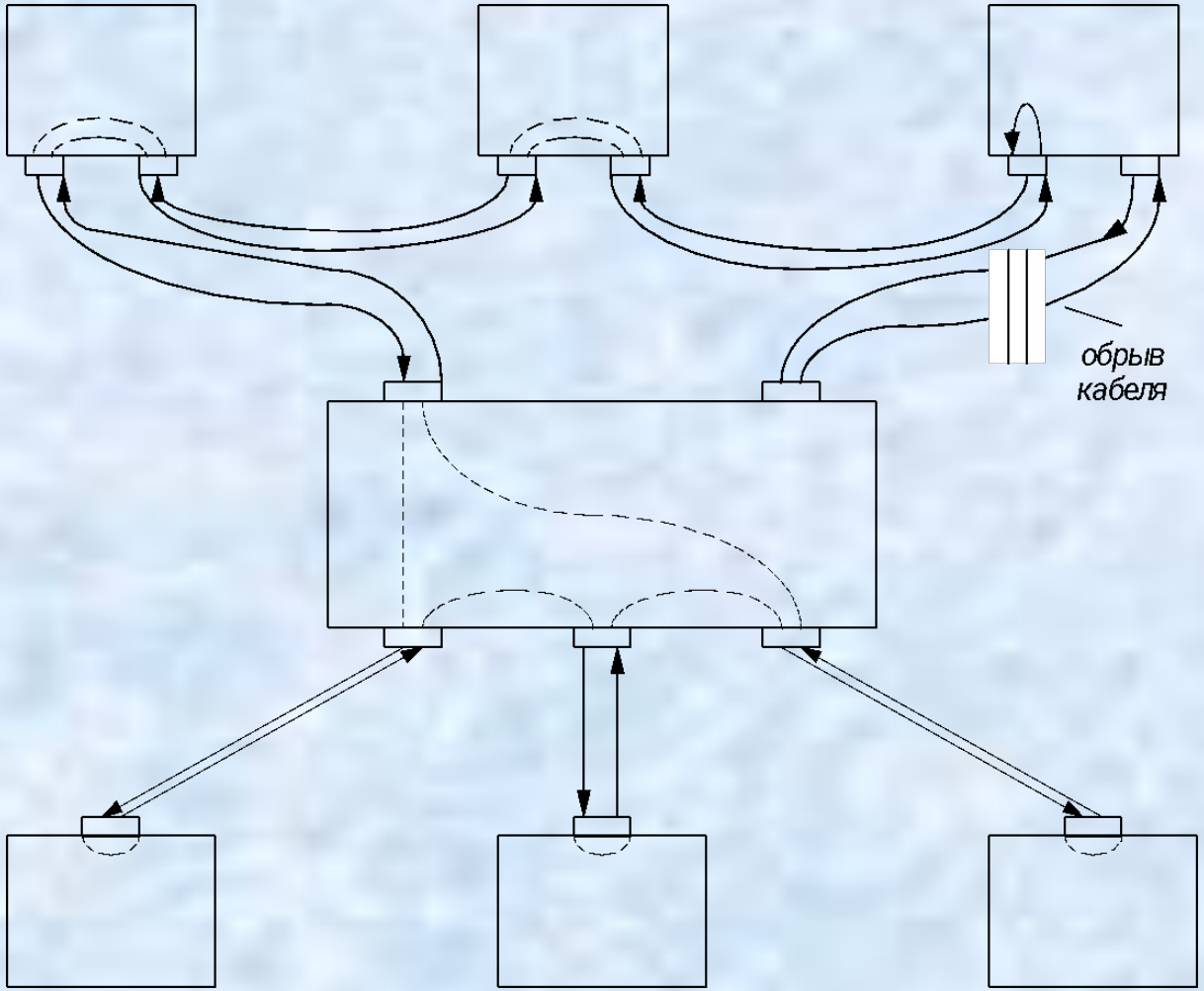
Протоколы FDDI



Элементы сети FDDI

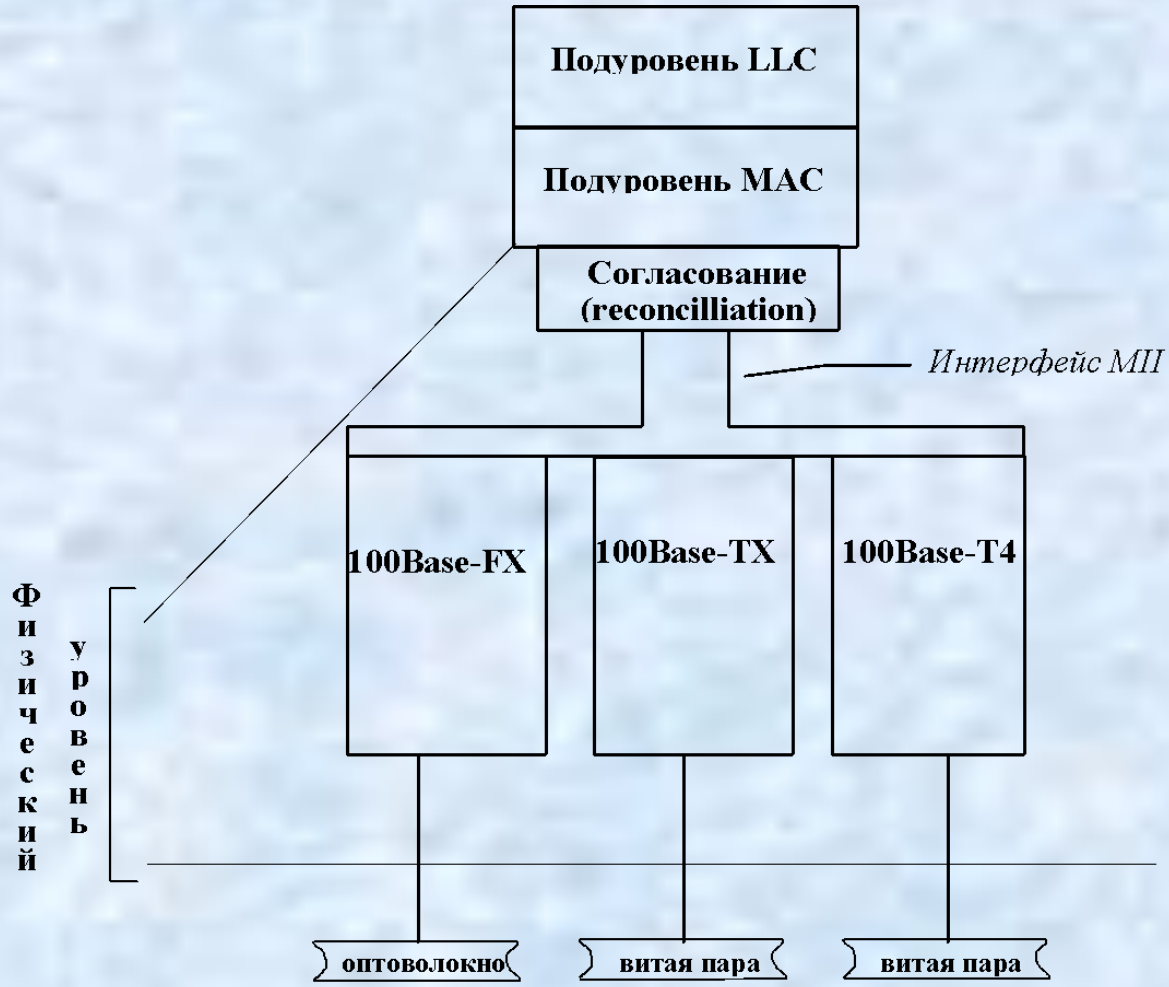


Пример реакции на обрыв



Fast Ethernet

802.3u



Стандарты физического уровня Fast Ethernet

- **100Base-TX для двухпарного кабеля на неэкранированной витой паре UTP категории 5, или экранированной витой паре STP Type 1, код 4B/5B**

- **100Base-FX для многомодового оптоволоконного кабеля, используется два волокна, код 4B/5B**

- **100Base-T4 для четырехпарного кабеля на неэкранированной витой паре UTP категории 3, 4 или 5, код 8B/6T**

Fast Ethernet и Ethernet 10

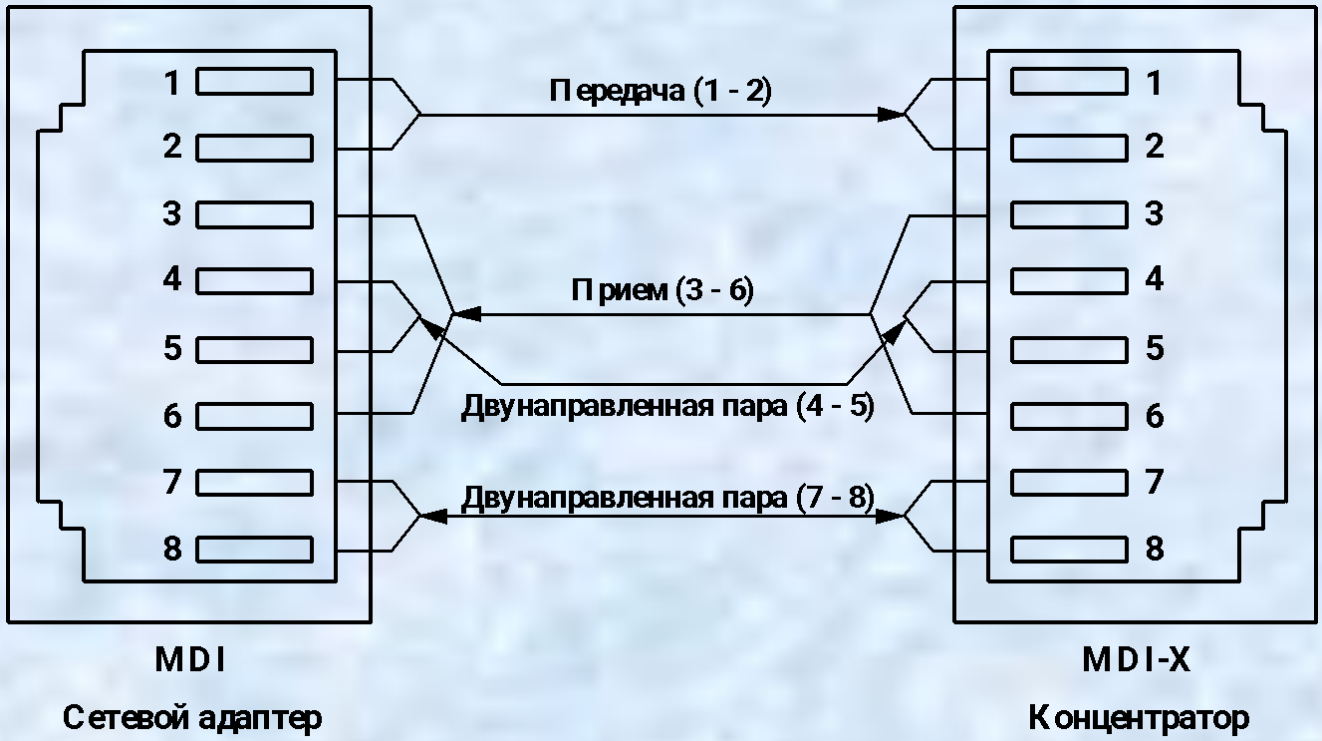
- Форматы кадров технологии Fast Ethernet не отличаются от форматов кадров технологий 10-Мегабитного Ethernet'а.
- Межкадровый интервал IPG равен 0,96 мкс, а битовый интервал равен 10 нс.
- Все временные параметры алгоритма доступа (интервал отсрочки, время передачи кадра минимальной длины и т.п.), измеренные в битовых интервалах, не изменились
- Признаком свободного состояния среды является передача по ней символа Idle соответствующего избыточного кода (а не отсутствие сигналов, как в стандартах Ethernet 10 Мбит/с).

Формат кадра Fast Ethernet

JK – ограничитель начала потока значащих символов

T – ограничитель конца потока значащих символов

Соединение устройств Fast Ethernet



Ограничения сети Fast Ethernet на повторителях класса I

Gigabit Ethernet

- Формат кадра – прежний
- Существуют полудуплексная (применяется редко) и полнодуплексные версии
- Минимальный размер кадра увеличен с 64 до 512 байт -> 200 м домен коллизий
- Введен Burst Mode – несколько кадров можно передавать подряд, без межкадрового интервала – до 8192 байта, кадры м.б. меньше 512 байт
- Физическая среда:
  - 1000Base-SX (Short Wavelength, 850 нм): многомодовое волокно - 220/500 м
  - 1000Base-LX (Long Wavelength, 1300 нм): многомодовое волокно – 550 м, одномодовое – до 5000 м
  - Твинаксиал – пара проводников в одном направлении, пара в другом

Gigabit Ethernet на витой паре

- Параллельная передача по 4 парам категории 5 -> 250 Мбит/с по одной паре
- Код PAM5: -2, -1, , +1, +2
- 5 состояний, 2,322 бита за такт -> тактовую частоту снизили до 125 Гц
- Код PAM5 на тактовой частоте 125 Гц имеет спектр уже, чем 100 МГц – параметр кабеля категории 5
- Полнодуплексный режим достигается за счет одновременной встречной передачи – принимаемый сигнал определяется DSP как разность между суммарным сигналом и собственным

Семейство Ethernet

Метод доступа CDMA/CD или Full Duplex

Физический уровень

Ethernet

10Base-5 | 10Base-2 | 10Base-T | 10Base-FL | 10Base-FB

Fast Ethernet

100Base-TX | 100Base-T4 | 100Base-FX

Gigabit Ethernet

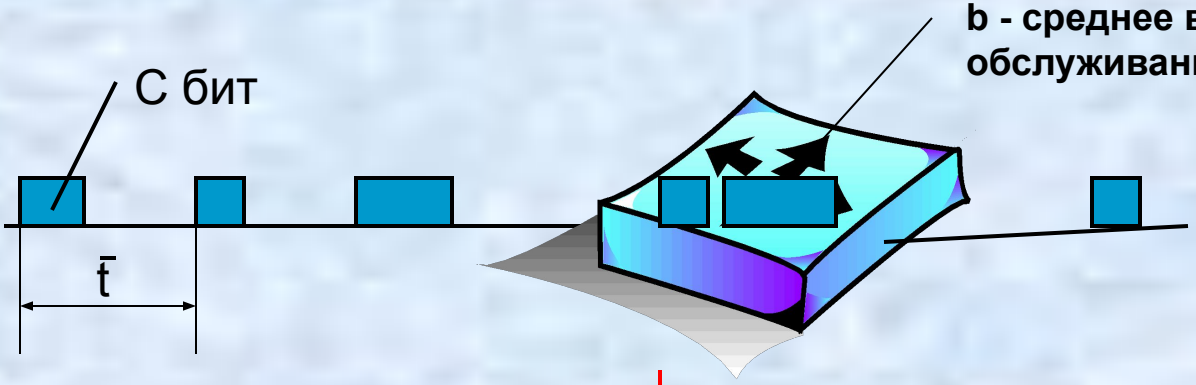
1000Base-SX | 1000Base-LX | 1000Base-TX

10GB – стандарт активно разрабатывается, область применения – магистрали глобальных сетей

Конкурент SDH

Алгоритмы управления очередями

Применение методов теории массового обслуживания (Queuing Theory) для анализа очередей в сетях



Модель M|M|1

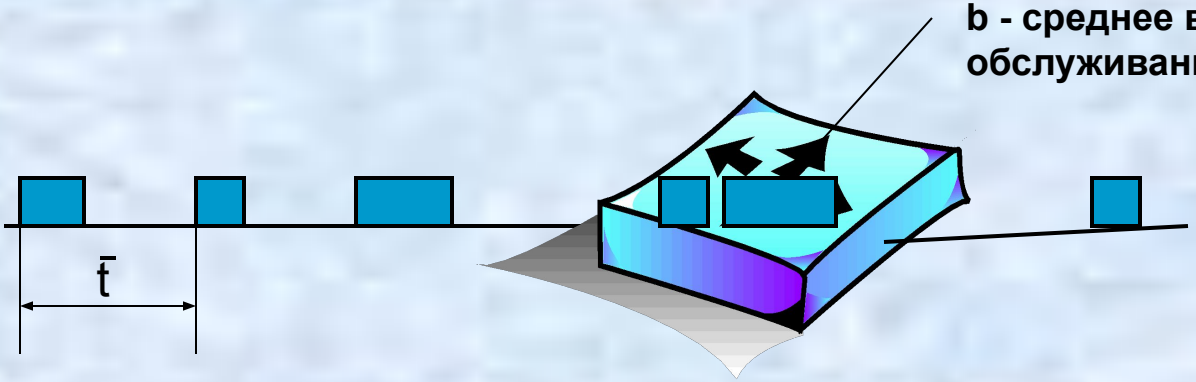
$\lambda = 1/\bar{t}$ - интенсивность поступления заявок-пакетов в обслуживающий прибор,
скорость поступления данных λ x C

$\mu = 1/b$ - интенсивность выхода заявок-пакетов из обслуживающего прибора,
b - среднее время продвижения пакета

$\rho = \lambda/\mu$ - коэффициент загрузки обсл. прибора

Алгоритмы управления очередями

Применение методов теории массового обслуживания (Queuing Theory) для анализа очередей в сетях



При экспоненциальном распределении времен поступления пакетов

$$A(t)=1-e^{-\lambda t}$$

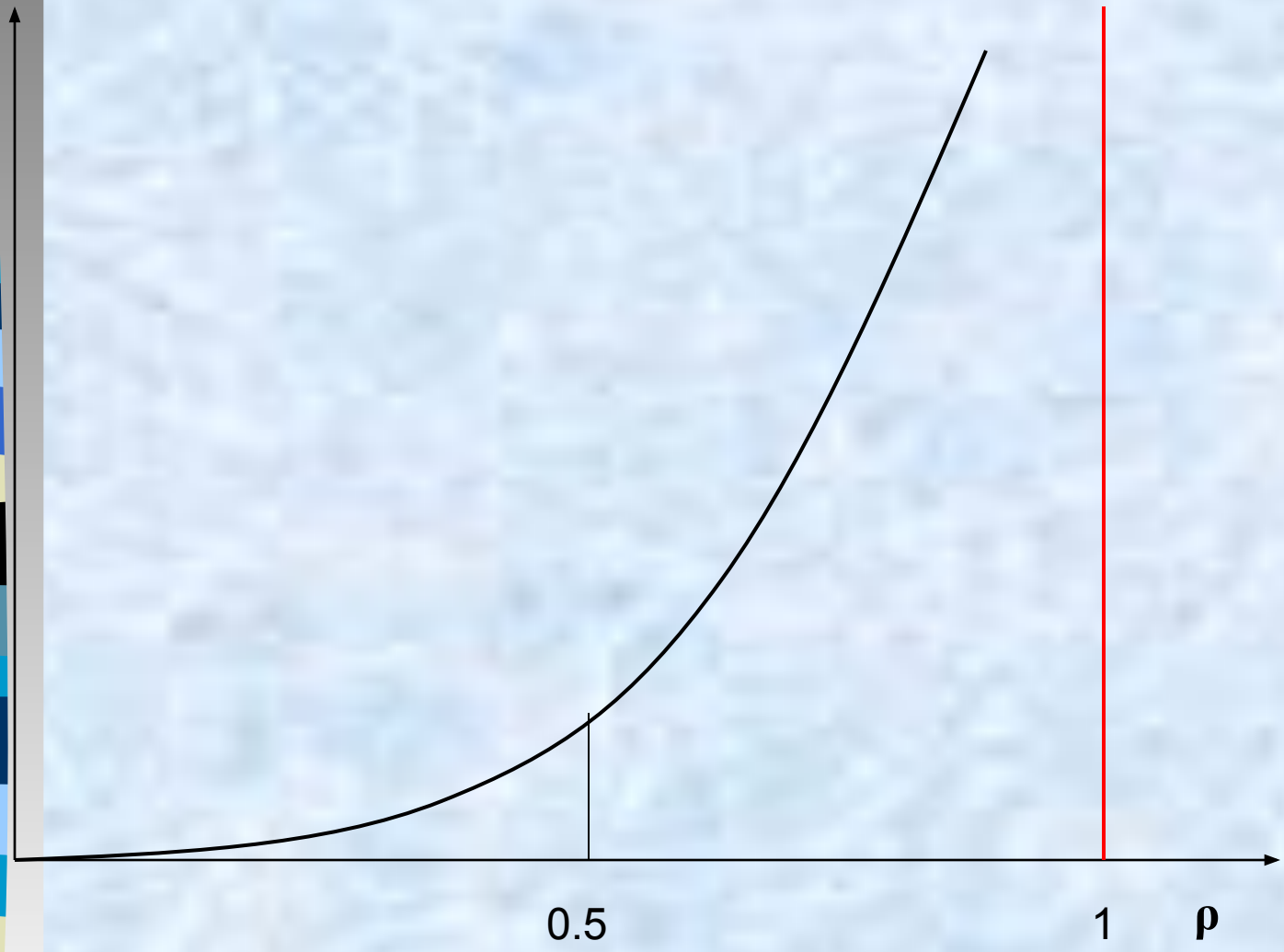
и экспоненциальном распределении времени обслуживания

$$B(x)=1-e^{-\mu x}$$

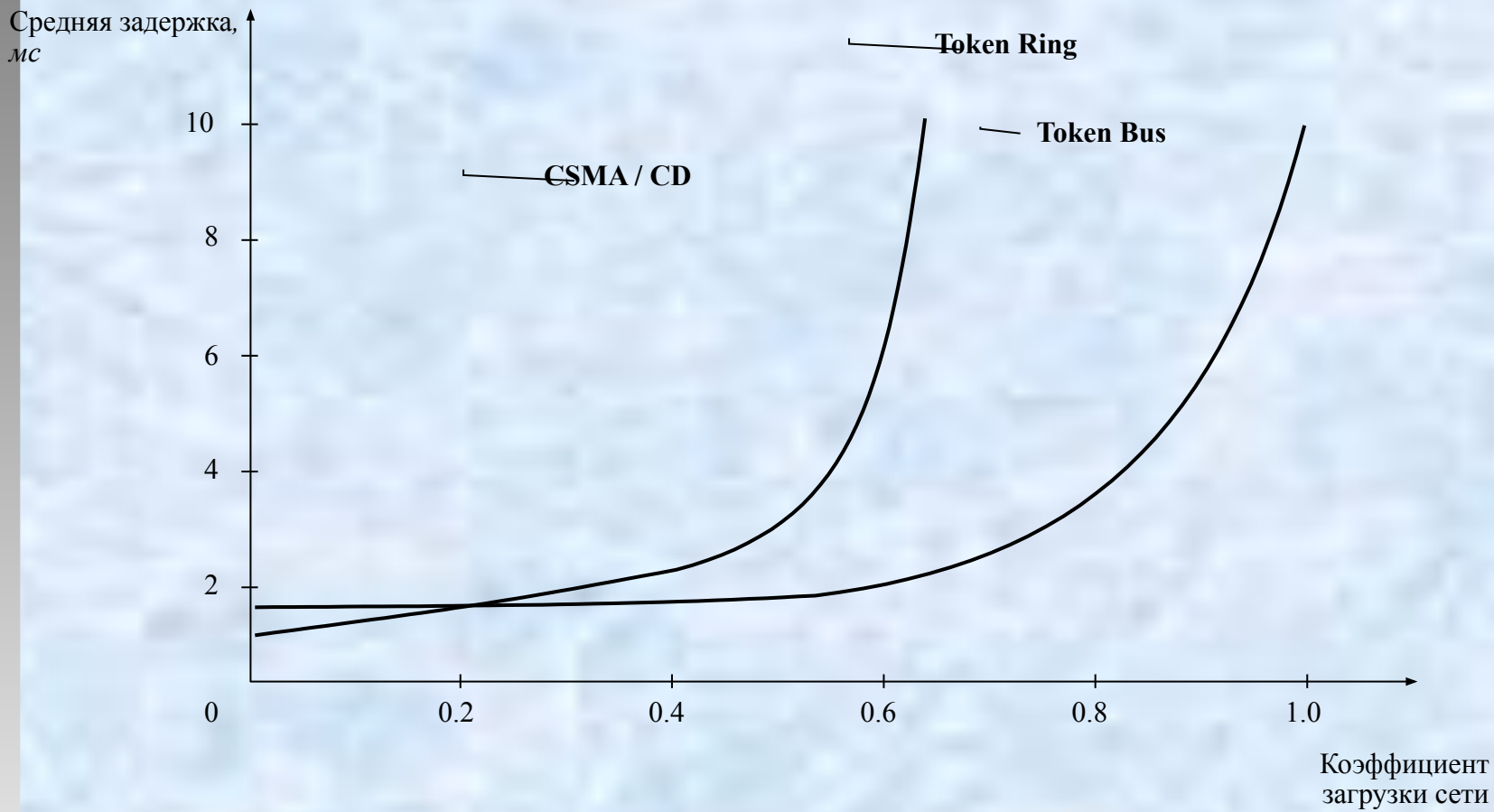
среднее время ожидания **W** равно

$$W = \rho b/(1-\rho)$$

Среднее время ожидания



При $\rho < 0.5$ задержки близки к 0 - низкая загрузка сети гарантирует качество обслуживания!


Средняя задержка, мс
Token Ring
Token Bus
CSMA / CD
10
8
6
4
2
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
Коэффициент загрузки сети

Вопросы по теме 3

1. Поясните разницу между расширяемостью и масштабируемостью на примере технологии Ethernet.

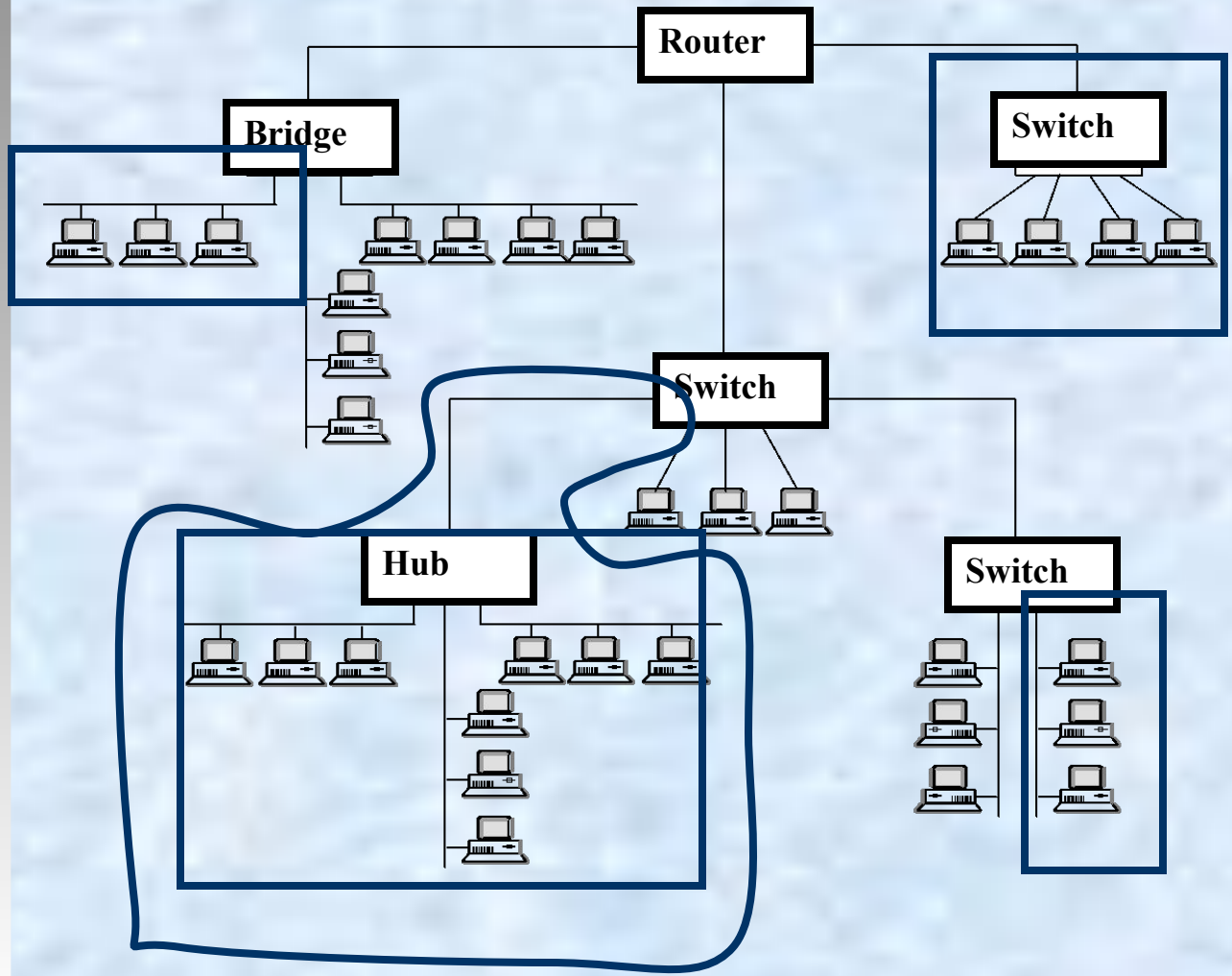
2. Что такое коллизия:

(A) ситуация, когда станция, желающая передать пакет, обнаруживает, что в данный момент другая станция уже заняла передающую среду

(B) ситуация, когда две рабочие станции одновременно передают данные в разделяемую передающую среду

Вопросы по теме 3

3. Что такое домен коллизий? Являютися ли обведенные сегменты сети доменами коллизий ?



Вопросы по теме 3

4. В чем состоят функции преамбулы и начального ограничителя кадра в стандарте Ethernet?

5. Какие сетевые средства осуществляют jabber control?

6. Чем объясняется, что минимальный размер кадра в стандарте 10Base-5 был выбран равным 64 байтам?

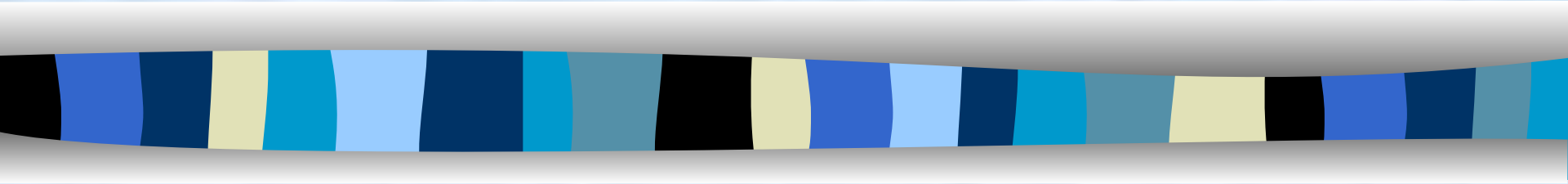
7. Какие типы ошибочных кадров могут встретится в сети Ethernet?

8. Как величина MTU влияет на работу сети? Какие проблемы несут слишком длинные кадры? В чем состоит неэффективность коротких кадров?

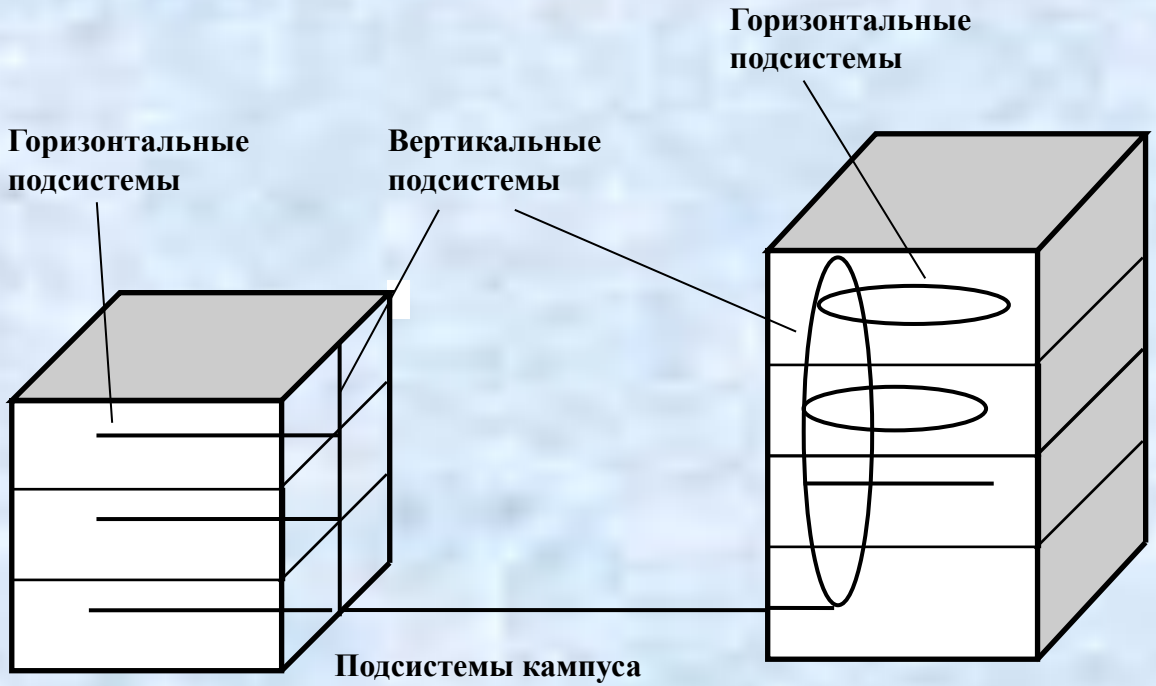
9. Как коэффициент загрузки влияет на производительность сети Ethernet?

10. С чем связано ограничение, известное как правило 4-х хабов?

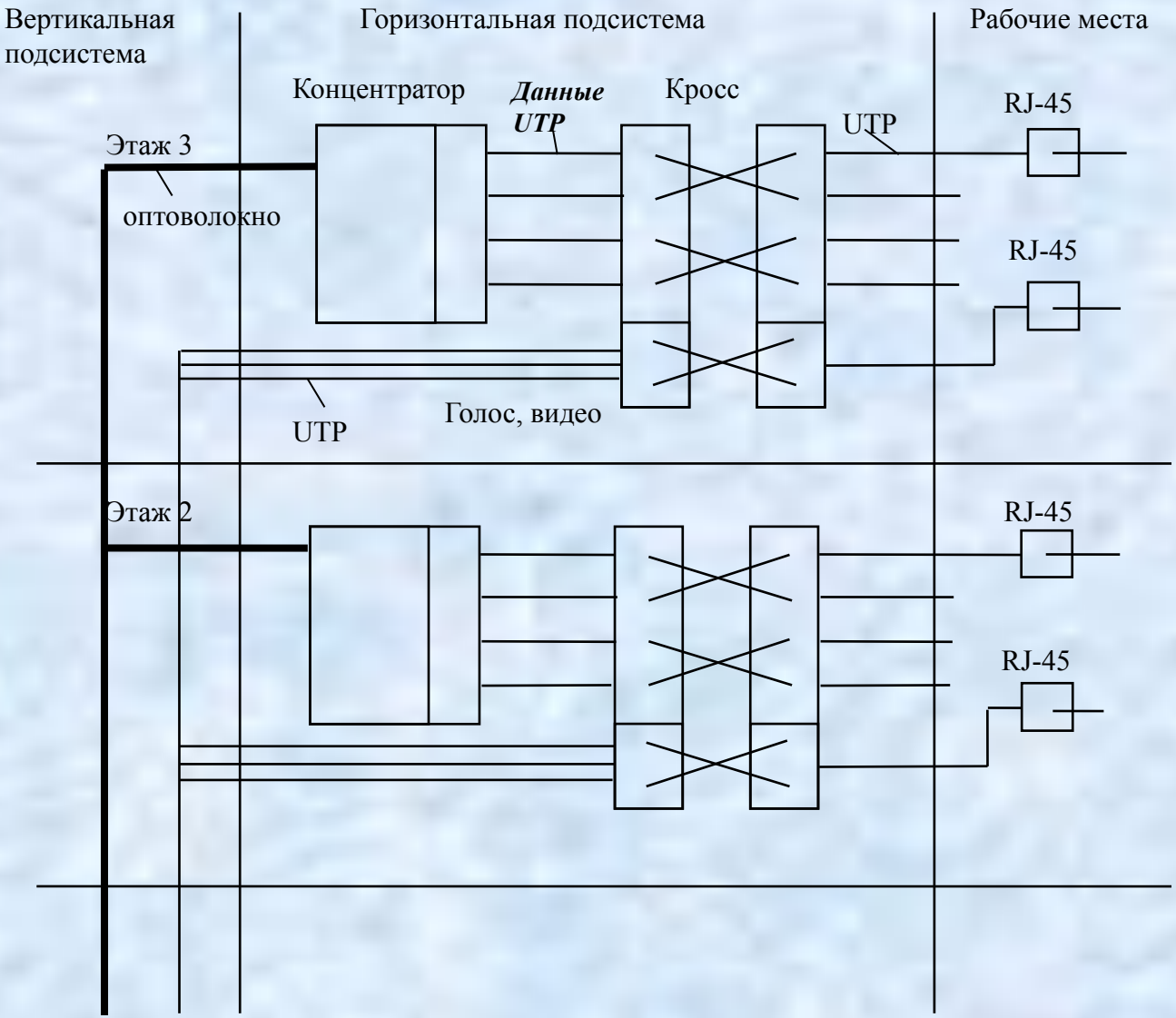
Тема 4. Оборудование физического и канального уровней локальных сетей



Структура кабельных подсистем



Кабельная система этажа



Преимущества структурированной кабельной системы

✔Увеличения срока службы. Если все рабочие места уже оснащены розетками для подключения компьютеров, то срок морального старения будет составлять 8-10 лет.

✔Уменьшение стоимости добавления новых пользователей. Стоимость кабельной системы: 5-6% от стоимости сети. Основная доля - работы по прокладке кабеля.

✔Возможность легкого расширения сети из-за модульности. Новая подсеть не оказывает влияние на существующие.

✔Более эффективное обслуживание (поиск и локализация неисправностей).

✔Соединение сегментов с помощью концентраторов - централизация коммуникационного оборудования.

AT&T - SYSTIMAX
IBM Cabling System

Выбор типа кабеля для горизонтальных подсистем

Выбор:

- экранированная витая пара
- неэкранированная витая пара
- коаксиальный кабель
- оптоволоконный кабель
- беспроводные линии связи

Характеристики, учитываемые при выборе:

- полоса пропускания
- расстояние (затухание)
- защищенность данных от несанкционированного доступа
- электромагнитная помехозащищенность
- стоимость

Характеристики кабеля

- ***Перекрестные наводки между витыми парами (Near End Crosstalk, NEXT)*** Перекрестные наводки между витыми парами представляют собой результат интерференции электромагнитных сигналов, возникающих в двух витых парах. Величина NEXT зависит от частоты передаваемого сигнала - чем выше величина NEXT, тем лучше (для неэкранированной витой пары категории 5 показатель NEXT должен быть не менее 27 Дб при частоте 100 МГц).
- ***Затухание (Attenuation). -*** потеря мощности электрического сигнала при его распространении по кабелю, измеряется в децибелах на метр. Для кабеля категории 5 при частоте 100 МГц затухание не должно превышать 23,6 Дб на 100 м.
- ***Импеданс (волновое сопротивление).*** Импеданс - это полное (активное и реактивное) сопротивление в электрической цепи.

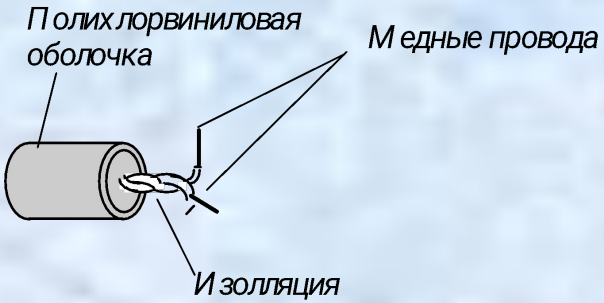
для коаксиальных кабелей, используемых в стандартах Ethernet, импеданс кабеля должен составлять 50 Ом

UTP - 100 и 120 Ом

STP - 150 Ом

- ***Активное сопротивление***. Активное сопротивление - это сопротивление постоянному току в электрической цепи. Для неэкранированной витой пары категории 5 активное сопротивление не должно превышать 9,4 Ом на 100 м.
- ***Емкость*** - Для кабельных систем категории 5 значение емкости не должно превышать 5,6 нФ на 100 м.

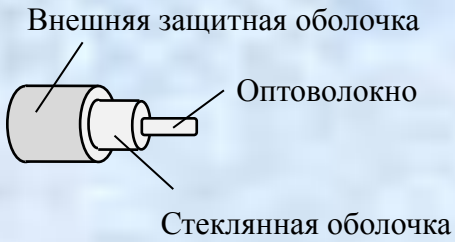
Неэкранированная витая пара (Unshielded Twisted Pair, UTP)



- Недорогой кабель
- С ним просто работать
- Имеется большой опыт использования в телефонных системах (за рубежом)
- Может использоваться как для передачи голоса, так и данных
- Удовлетворительная электромагнитная защищенность
- Стал основным типом кабеля для сетей отделов
- Поддерживается большей частью сетевых стандартов
- Волновое сопротивление 100 Ом

Категория 3: до 16 МГц
Категория 4: до 20 Мгц
Категория 5: до 100 Мгц
Категория 5+: до 100-150 Мгц – не стандартизовано
Категория 6: до 250 Мгц – не стандартизовано
Категория 7 (экран): до 600 Гц – не стандартизоано

Волоконно-оптический кабель



♦ **Одномодовое волокно** (5 - 15 мкм) - полоса пропускания до нескольких ГГц

¨ **Многомодовое волокно** (50, 62.5 мкм) - полоса пропускания около 500 МГц

- ♦ Большие расстояния (до 100 – 200 км для одномодового кабеля)
- ♦ Отличная помехозащищенность
- ♦ Не создает помех
- ♦ Используется для передачи данных, видео и голоса
- ♦ Отличная защита от несанкционированного доступа (при отводе резко возрастает затухание сигнала)
- ♦ Дорог сам по себе, высокая стоимость соединения кабеля с разъемом
- Поддерживается большинством сетевых стандартов. Для горизонтальных подсистем используется пока редко из-за стоимости

Активное оборудование физического и канального уровней локальных сетей

- ***Сетевые адаптеры*** - обеспечивают сопряжение узлов сети (компьютеров) с линиями связи.

- ***Повторители*** (repeaters) - работают на физическом уровне, улучшают физические характеристики сигналов, удлиняют связи в сети

- ***Концентраторы*** (hubs) - центральными узлы обмена информацией между несколькими конечными станциями сети сегмента сети. Выполняют функции повторителя.

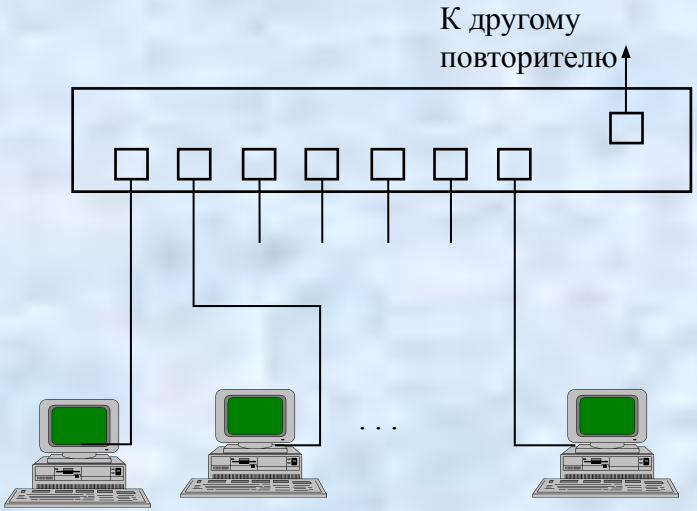
- ***Мосты*** (bridges) - локализуют трафик внутри сегментов сетей. Передают пакет с порта на порт только тогда, когда MAC-адрес принадлежит этому порту

Коммутаторы (switching) ***мосты*** - осуществляют одновременную передачу пакетов между всеми парами портов по алгоритму моста

Повторители (repeaters) и концентраторы (hubs)

- Устройства, которые на физическом уровне повторяет (и, как правило, улучшает их электрические характеристики: форму, мощность) сигналы, пришедшие на вход одного из портов:

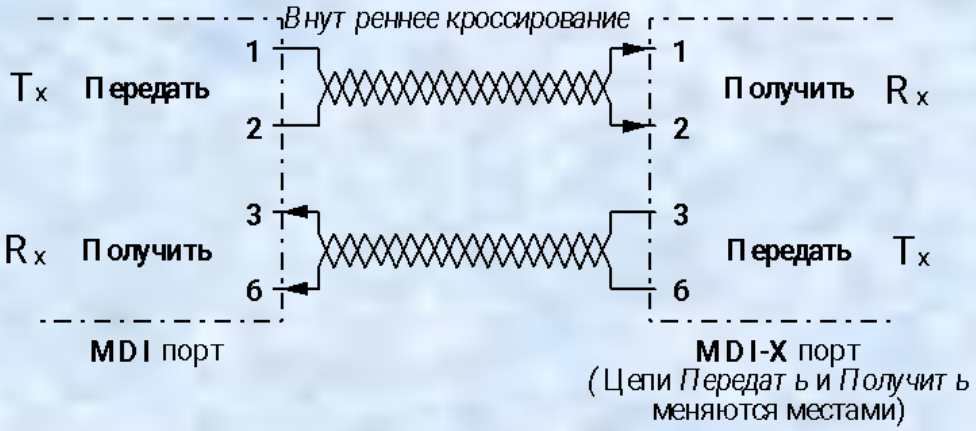
- ♦ на всех остальных портах (Ethernet)
- ♦

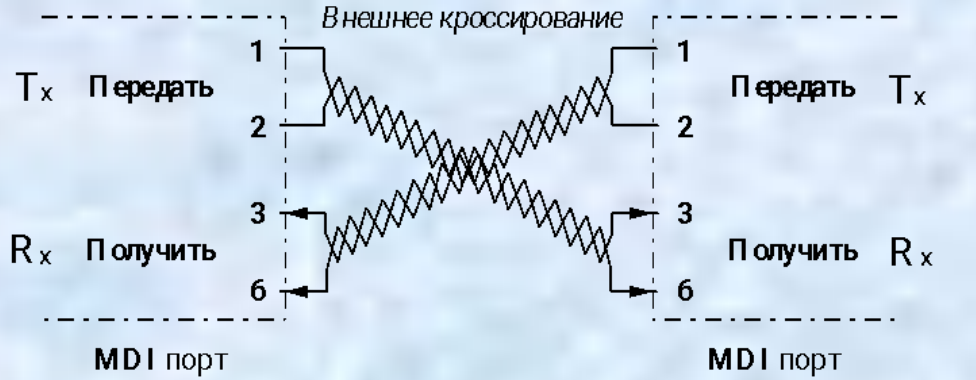


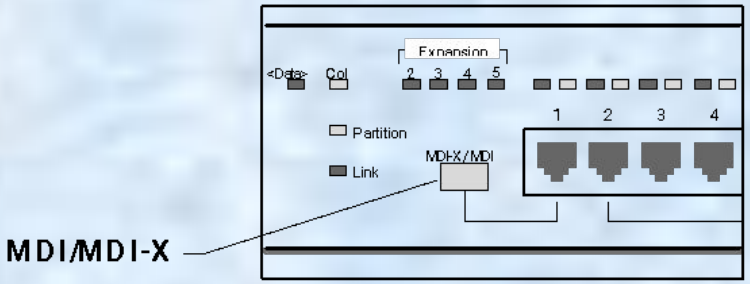
Концентратор: повторитель + дополнительные функции

Соединение концентраторов

- ♦



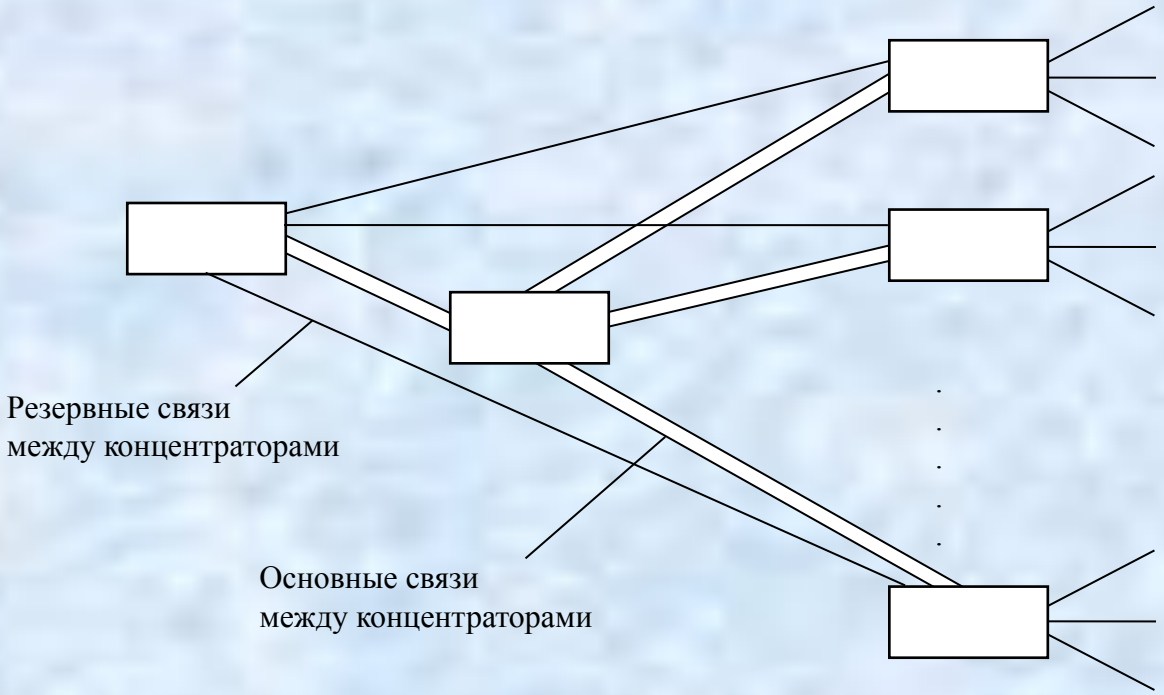




Дополнительные функции концентраторов

Автосегментация (partitioning) - отключение порта при повреждении кабеля данного сегмента или других ошибочных ситуациях

Поддержка резервных связей:



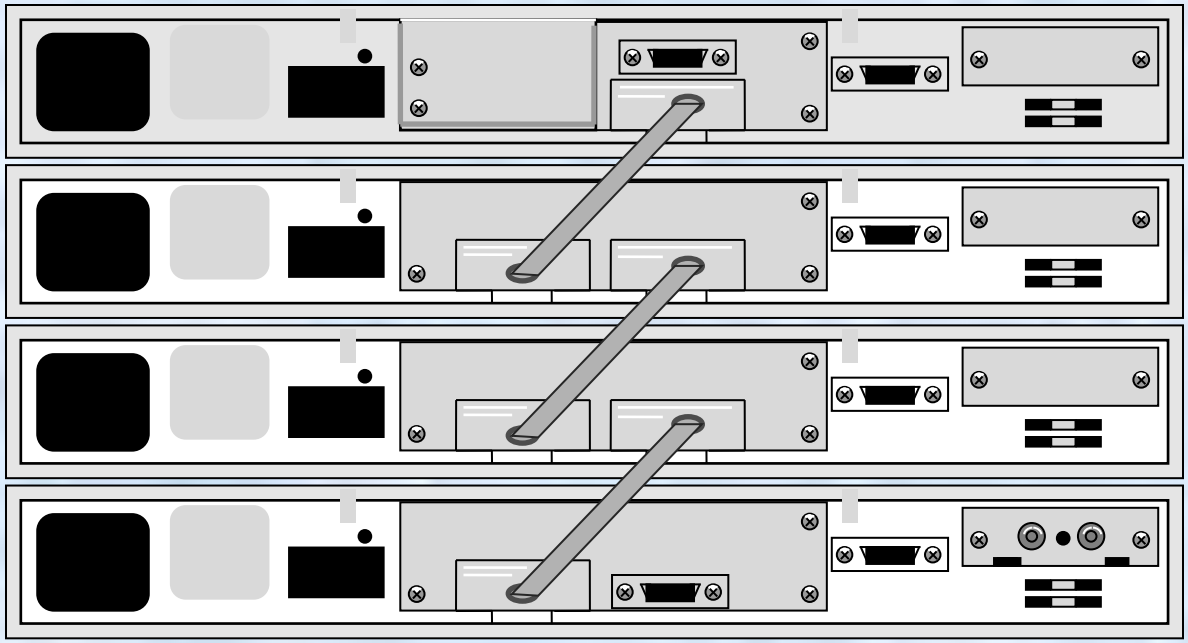
Конструктивы коммуникационных устройств

Стек устройств

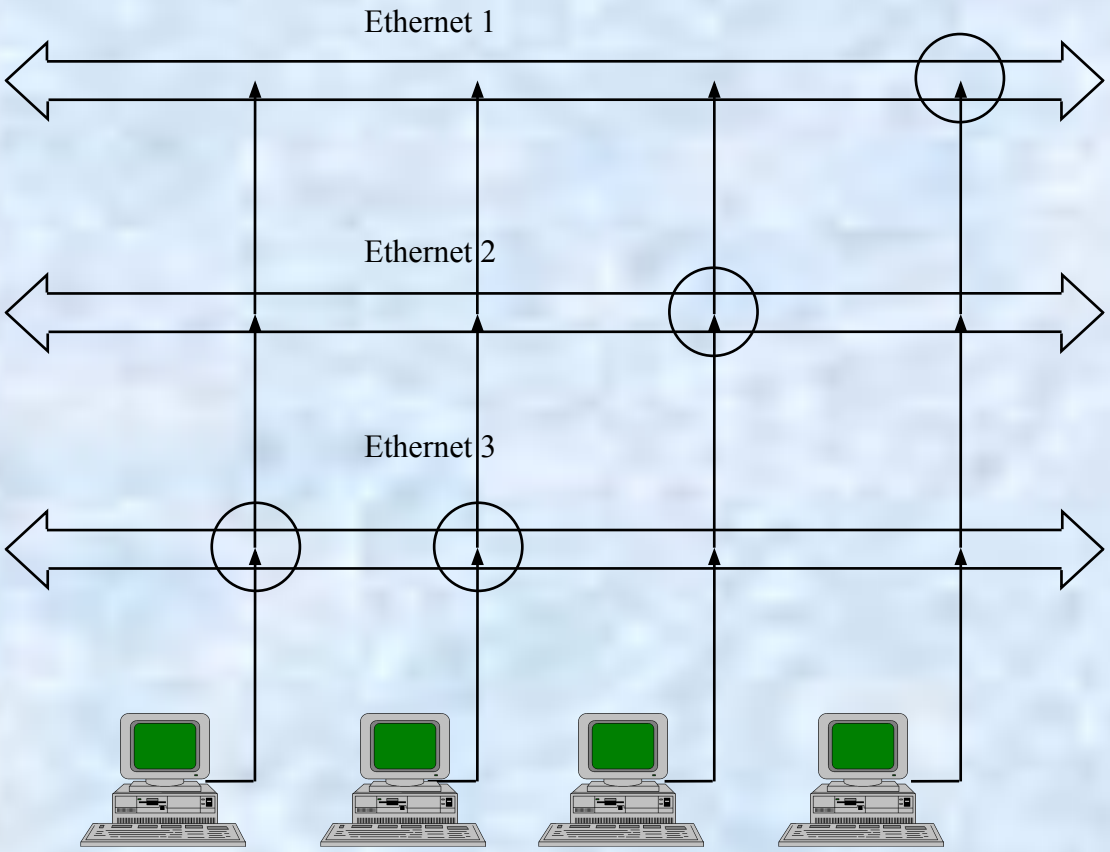
Шасси

С фиксированным набором портов (Standalone)

Стековые концентраторы



Многосегментные концентраторы



Логическая структуризация локальных сетей

Преимущества деления сетей на подсети и сегменты:

- *Сегментация уменьшает общий сетевой трафик.*
- *Подсети увеличивают гибкость сети.*
- *Подсети повышают безопасность данных.*
- *Подсети упрощают управление сетью*

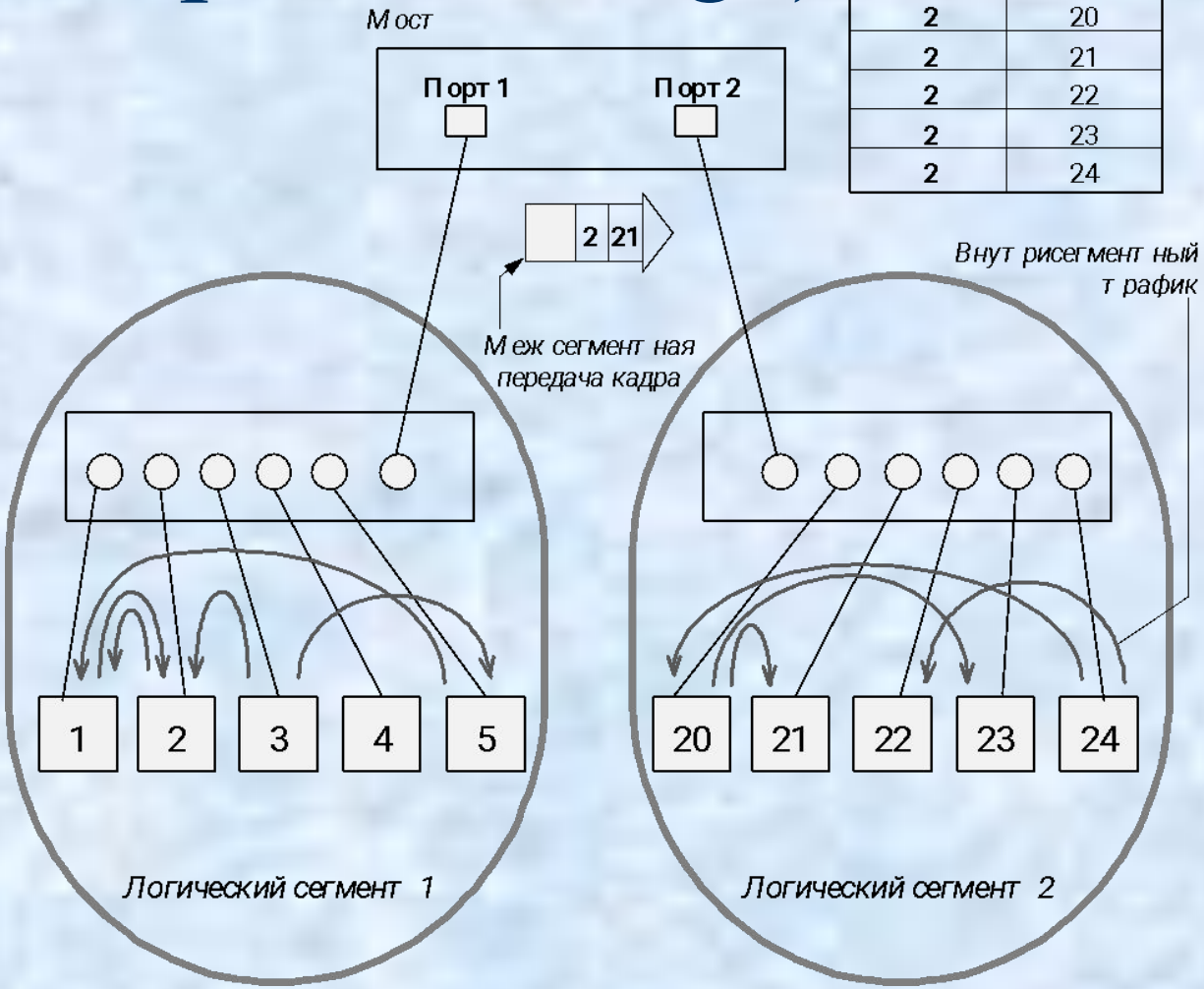
.

Мосты и коммутаторы 2-го уровня

- Позволяют логически структурировать сеть на сегменты с локализацией трафика
- Работают на канальном уровне – поддержка любых протоколов сетевого уровня (IP, IPX)
- Только древовидная топология сети

Мосты (transparent bridge)

Порт	Адрес
1	1
1	2
1	3
1	4
1	5
2	20
2	21
2	22
2	23
2	24



Структура моста

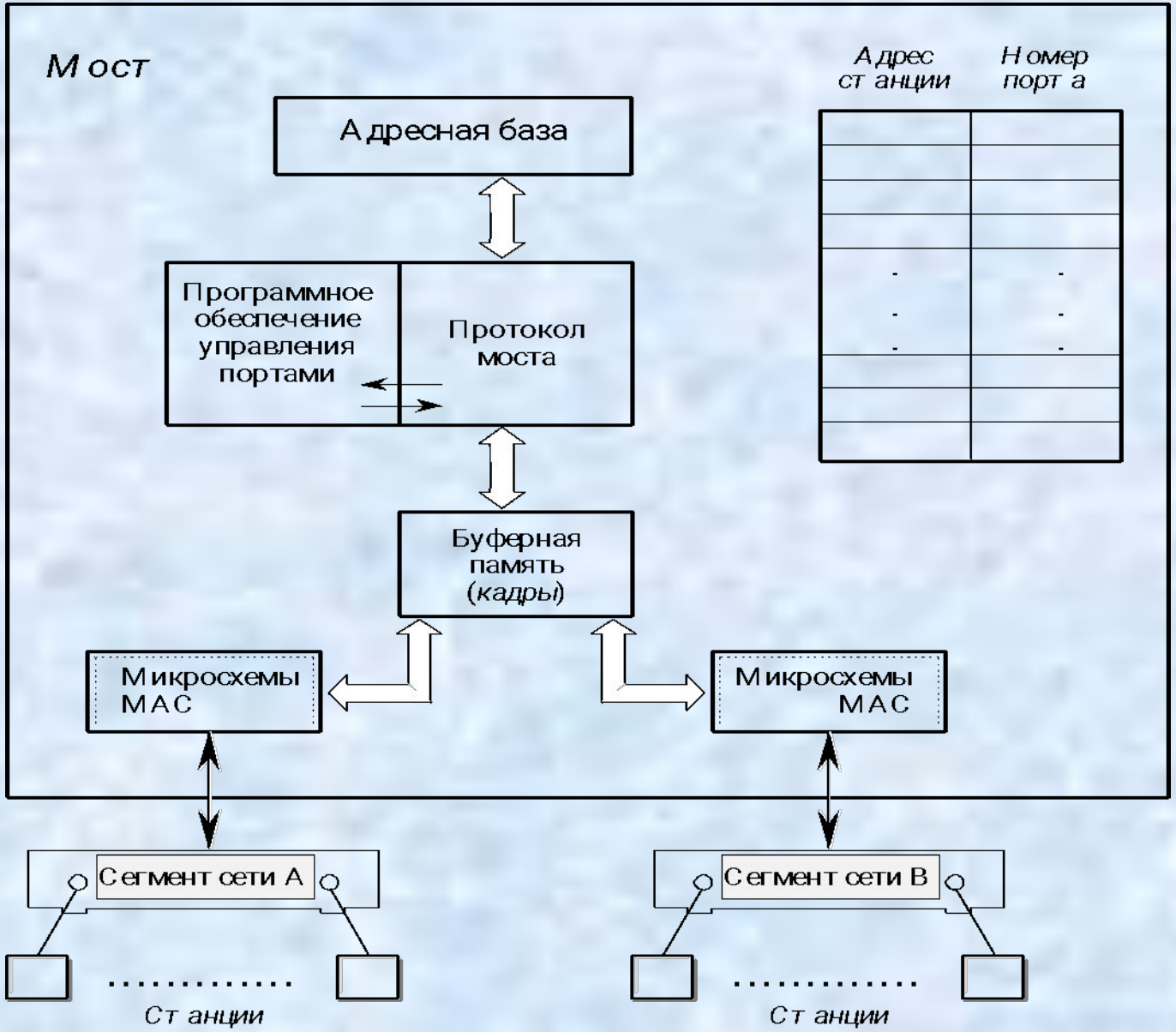
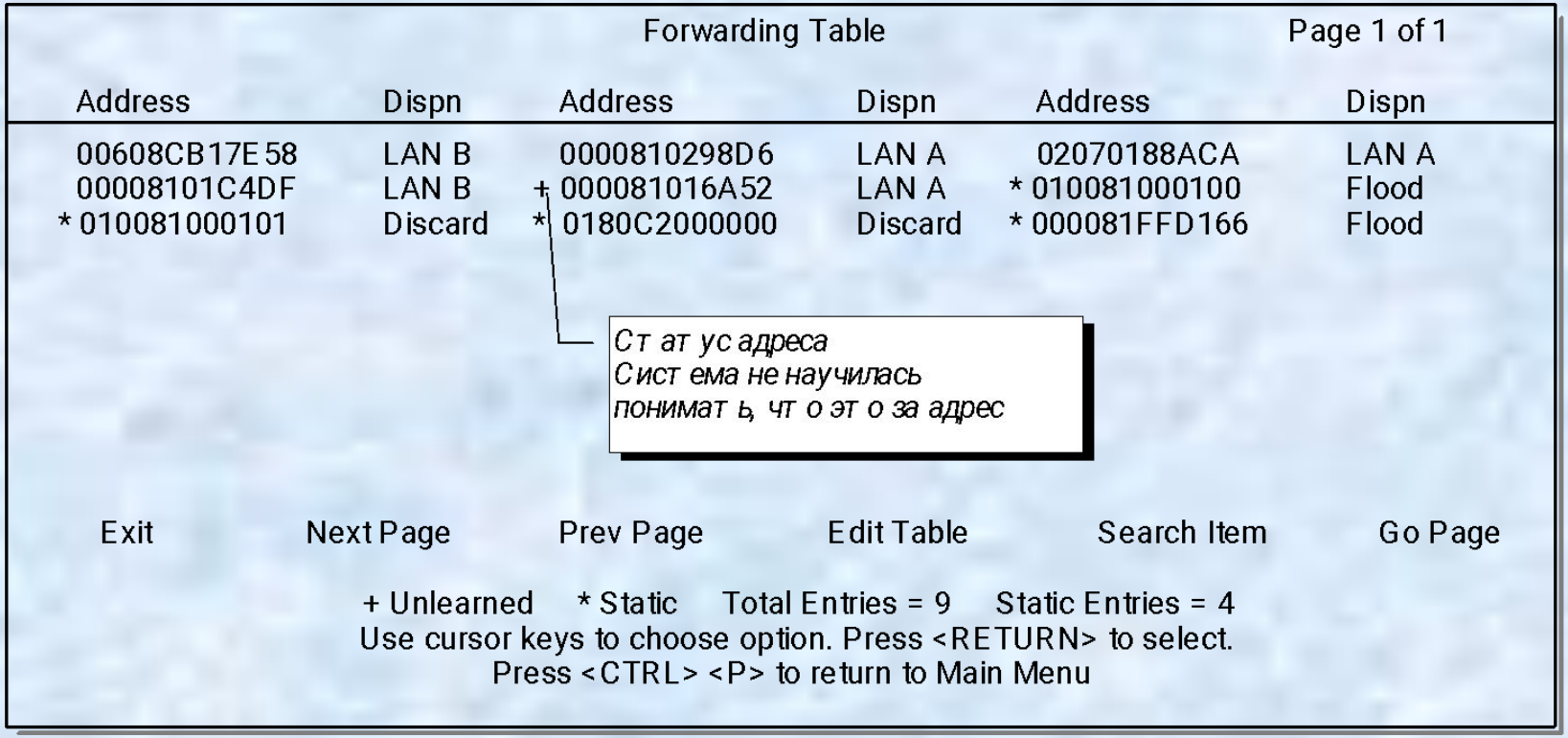
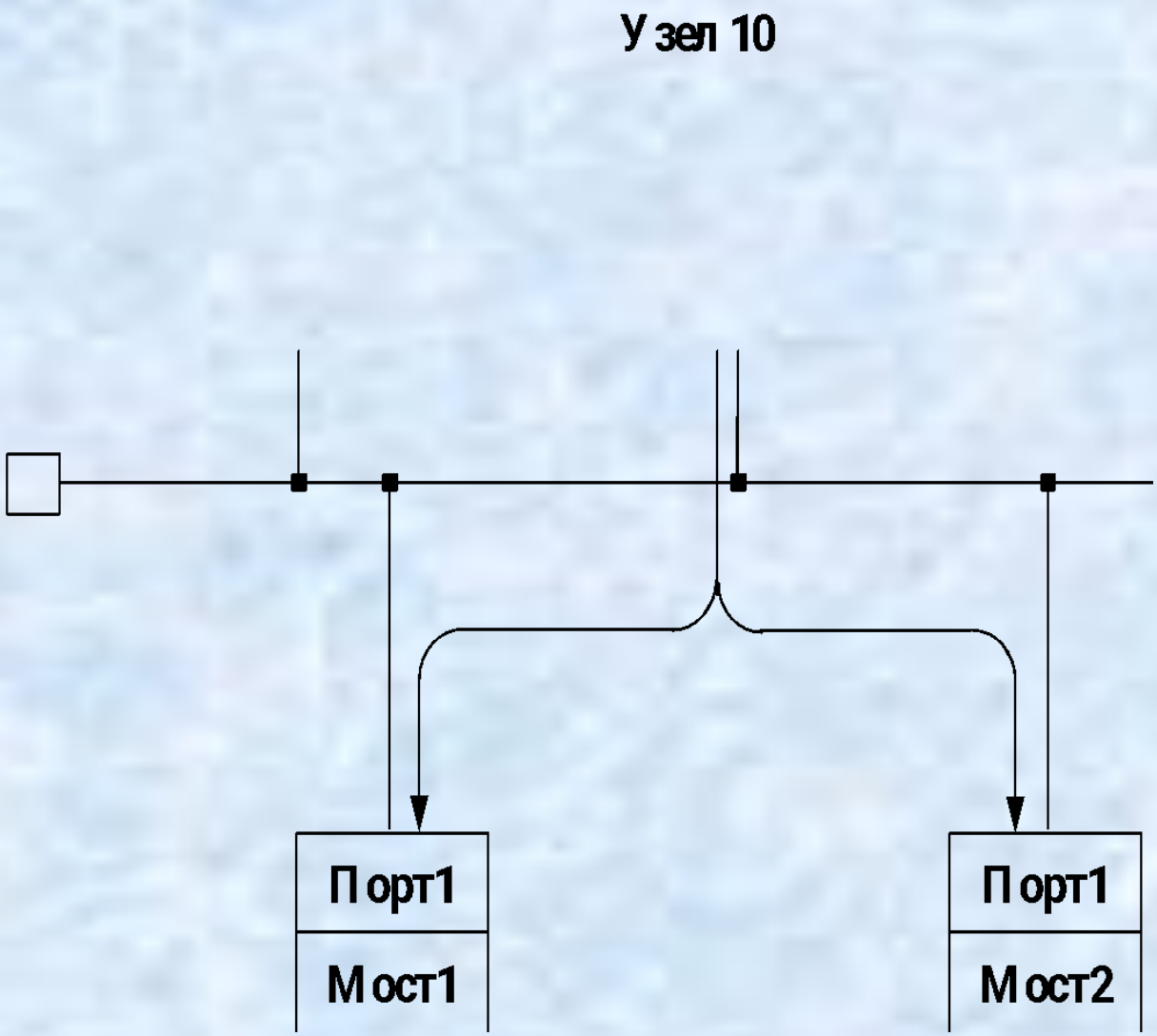


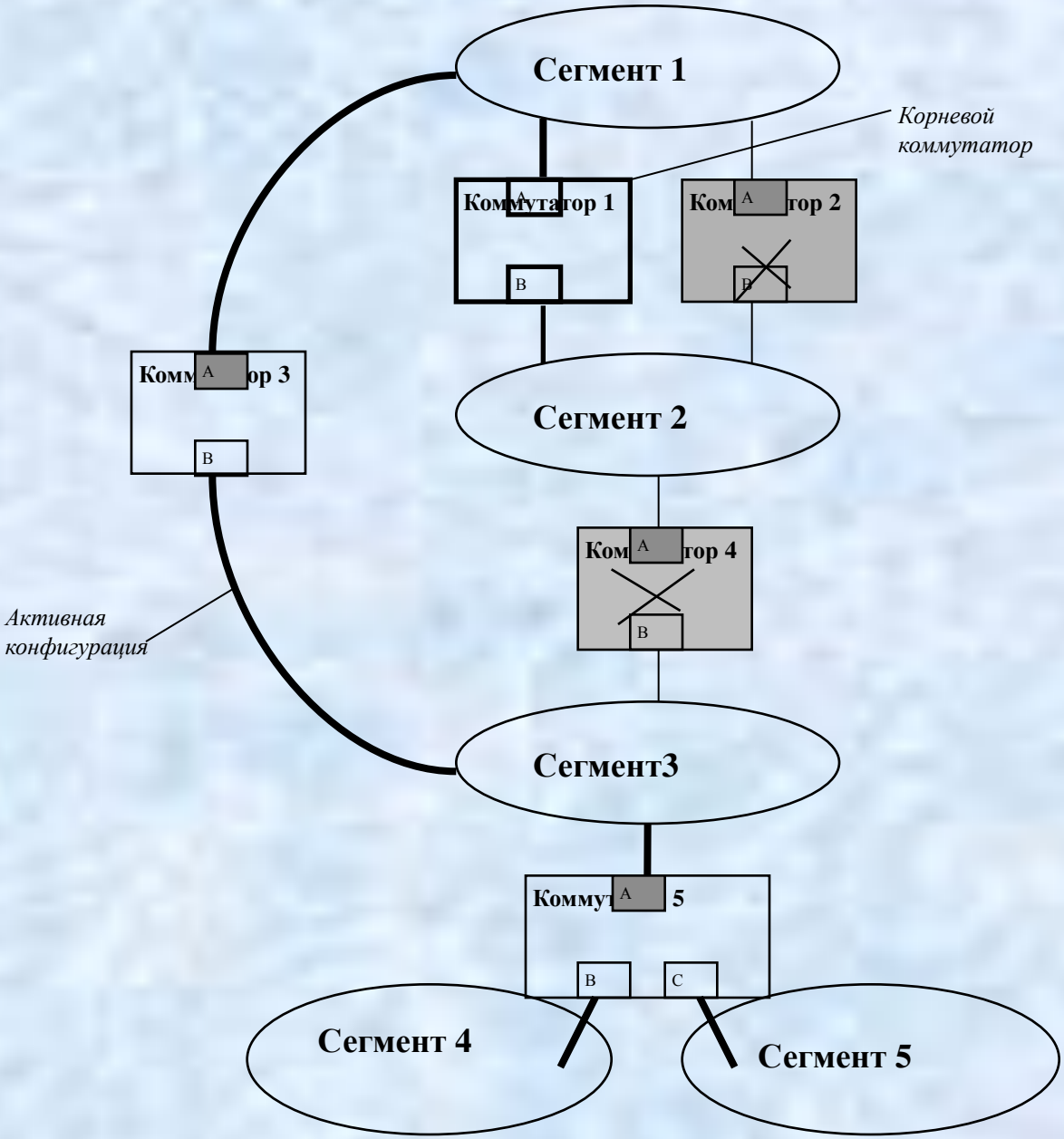
Таблица моста



Влияние замкнутых маршрутов на работу моста



Алгоритм Spanning Tree



Характеристики моста

Главные характеристики моста типа Transparent:

- Количество портов и типы интерфейсов
- Размер внутренней адресной таблицы (обычно 500 - 8000)
- Скорость фильтрации пакетов (filtering)
- Скорость передачи пакетов на другой порт (forwarding)
- Размер буфера кадров

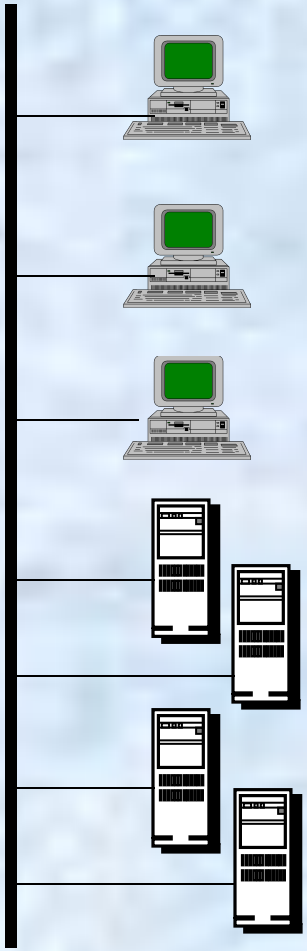
Для быстродействующих мостов **Ethernet - Ethernet** эти ско-рости приближаются к максимально возможной - 14880 к/с

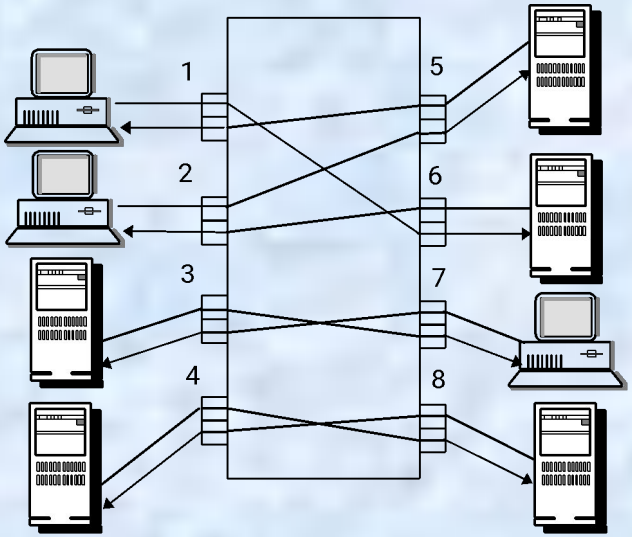
Для моста **Fast Ethernet - Fast Ethernet** максимальная скорость ~148800 к/с

Дополнительные функции моста

- Поддержка алгоритма **Spanning Tree (STA)** - резервные связи
- Соединение сетей с различными протоколами канального уровня (например **Ethernet - Token Ring**)
- Поддержка алгоритма маршрутизации от источника **(Source Routing Bridge)**
- Управляемость
- Установка пользовательских фильтров

Коммутаторы локальных сетей



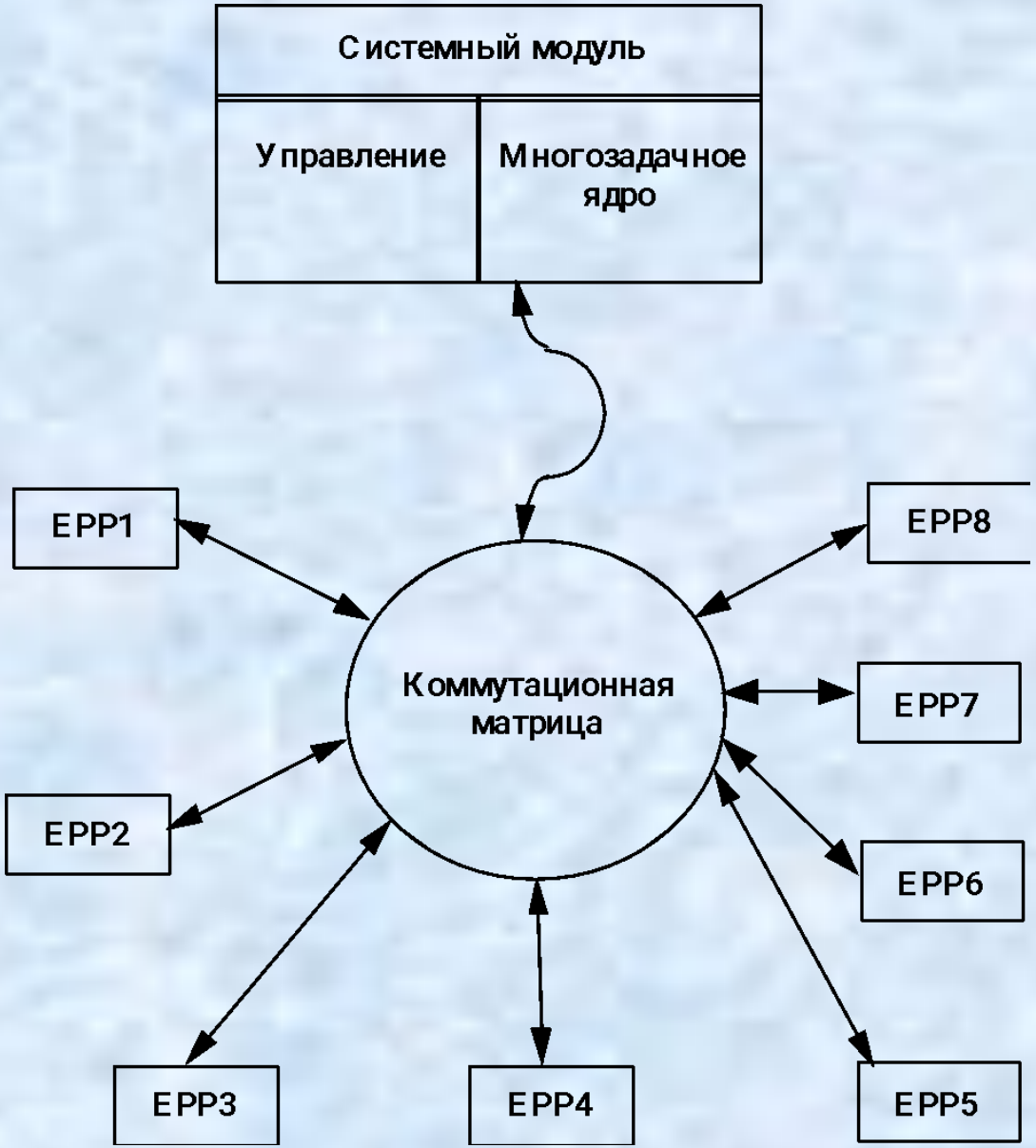


Коммутатор:

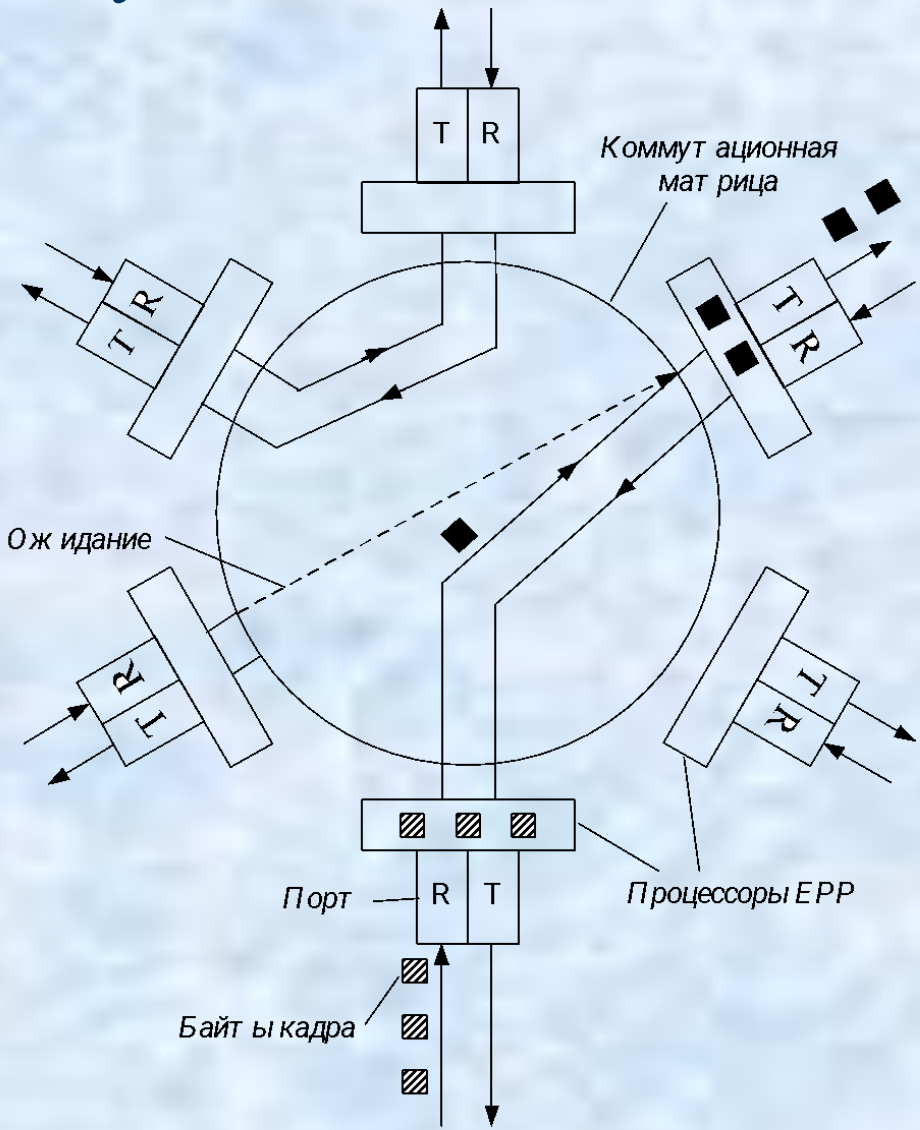
- **параллельная обработка потоков от портов**
- **на станцию приходится 10 Мбит/с**

Разделяемая среда:
на станцию приходится 10 / N Мбит/с

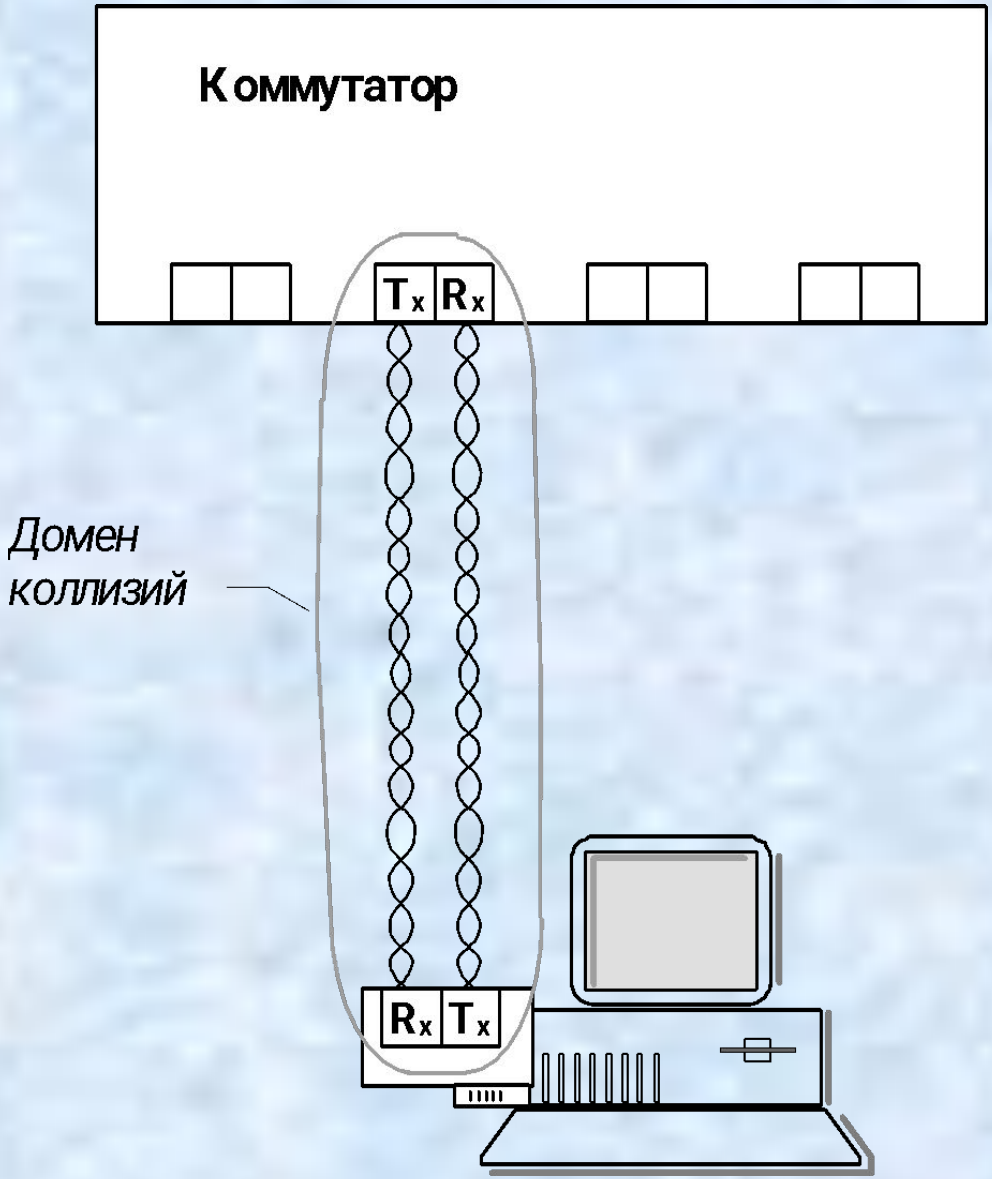
Структура коммутатора Kalpana



Передача кадров через коммутационную матрицу



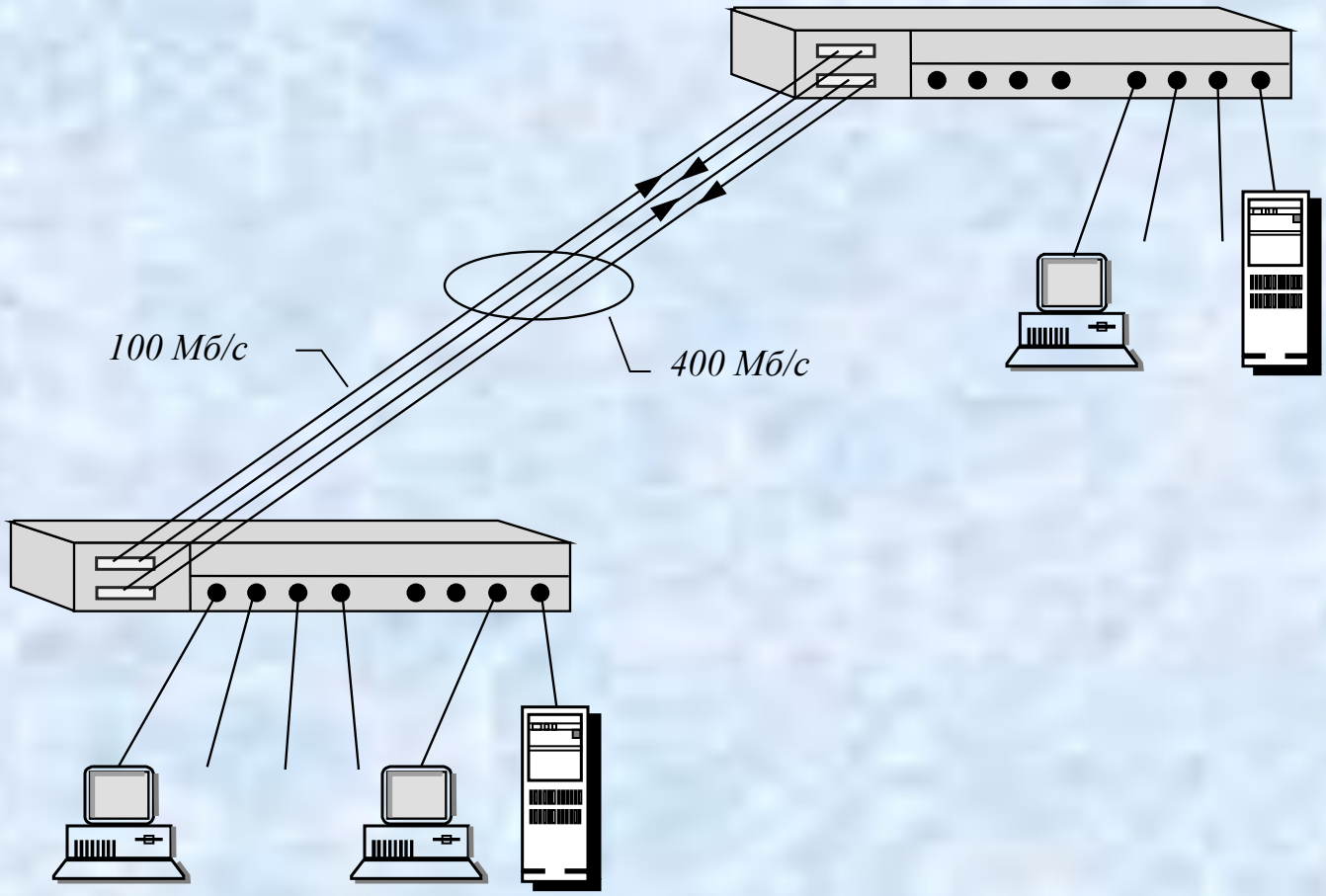
Полудуплексный режим работы порта коммутатора – half duplex



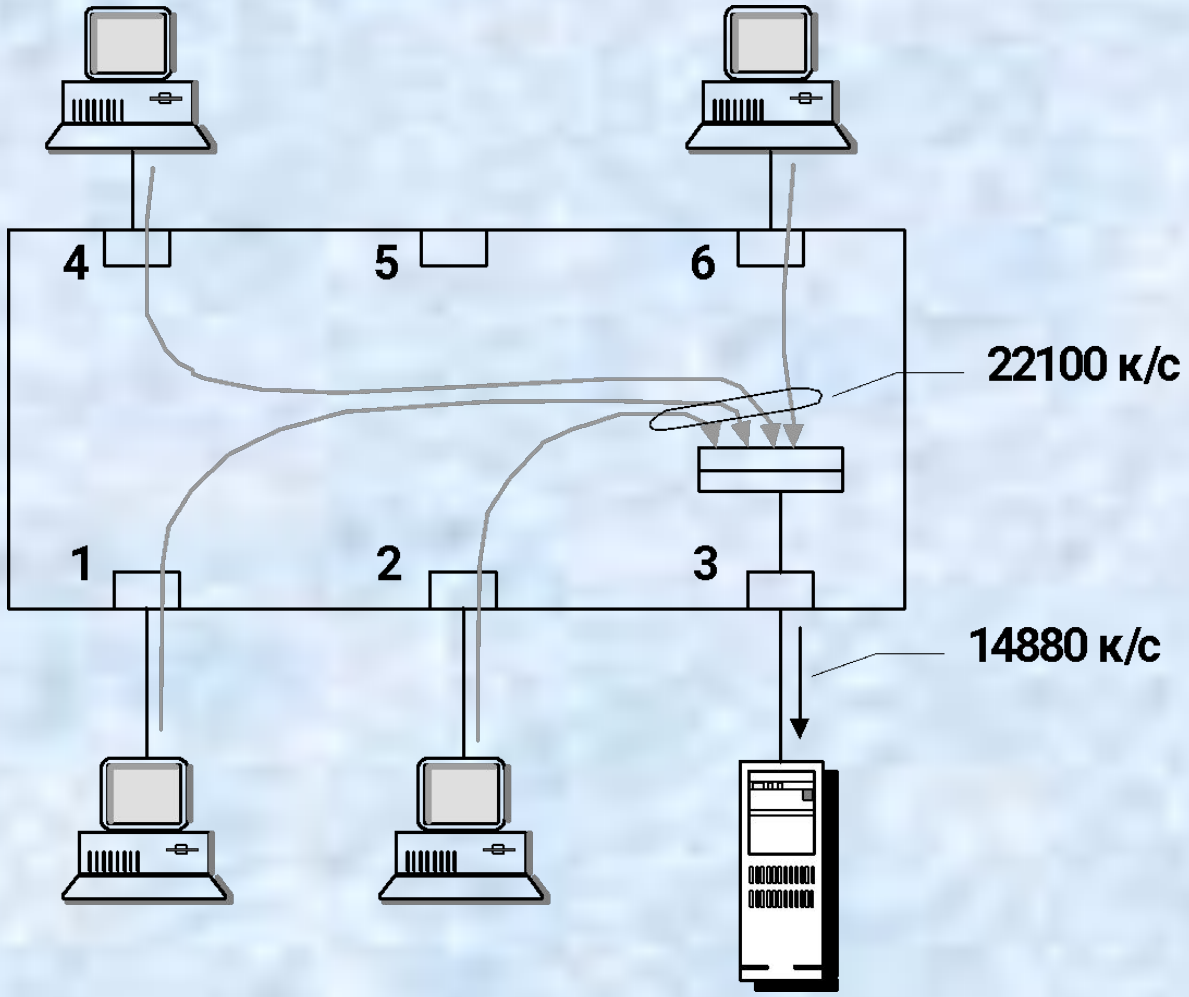
Полнодуплексный режим работы порта коммутатора – full duplex

Одновременная передача кадров в двух направлениях

Транк



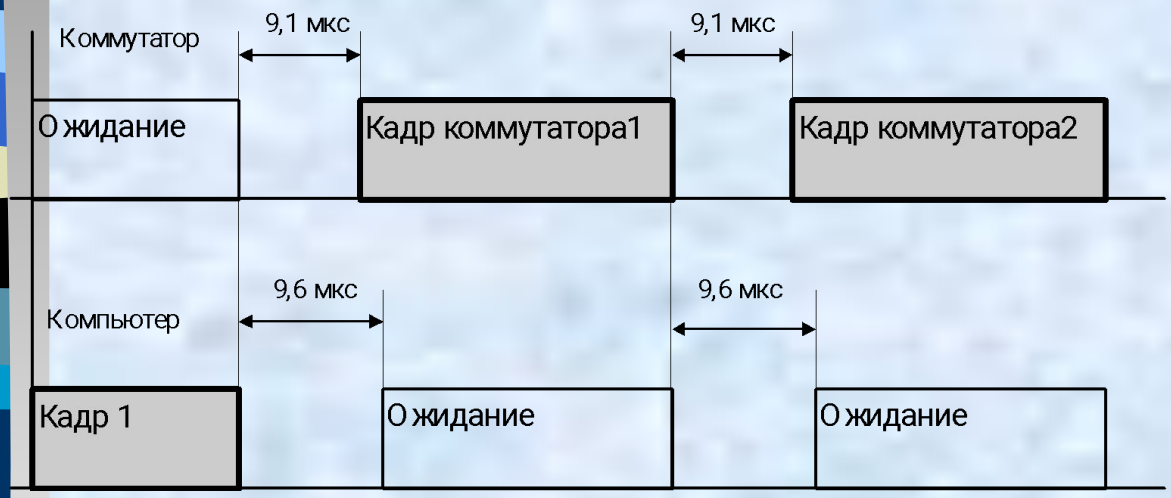
Переполнение буфера порта из-за несбалансированности трафика



Управление потоком в коммутаторах

A. В полудуплексном режиме

- Обратное давление – создание коллизий
- Агрессивное поведение коммутатора

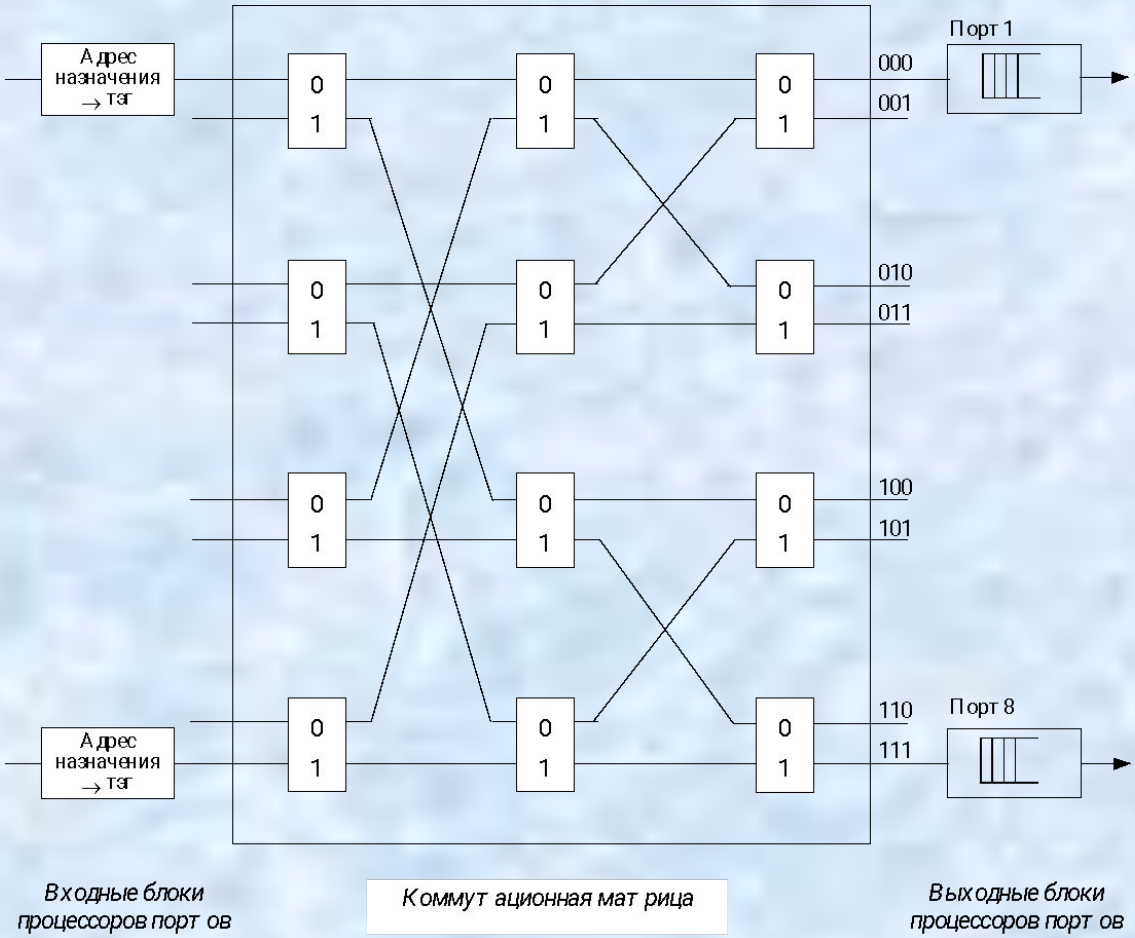


B. В полнодуплексном режиме

- Команды XON - XOFF

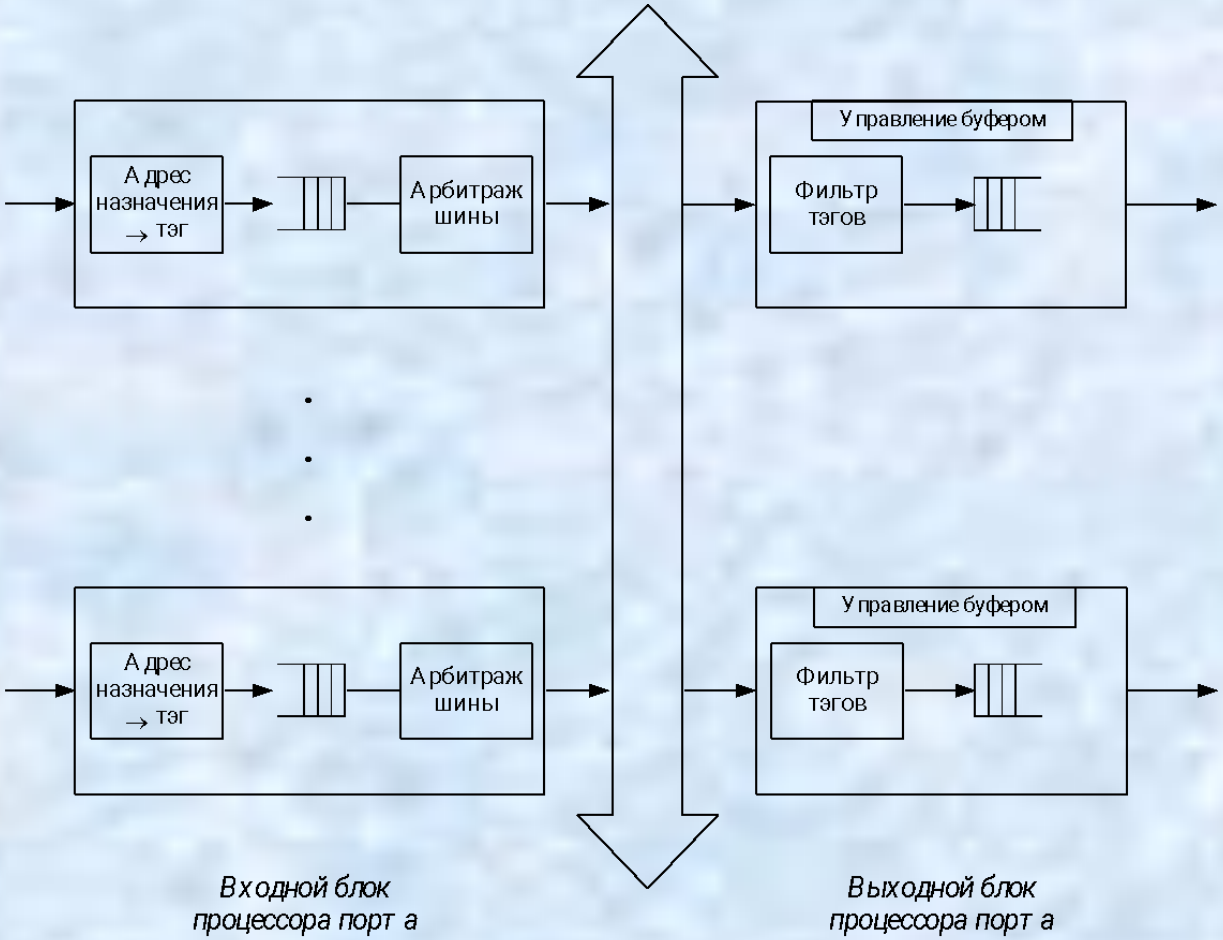
Реализация коммутаторов

1. Коммутационная матрица



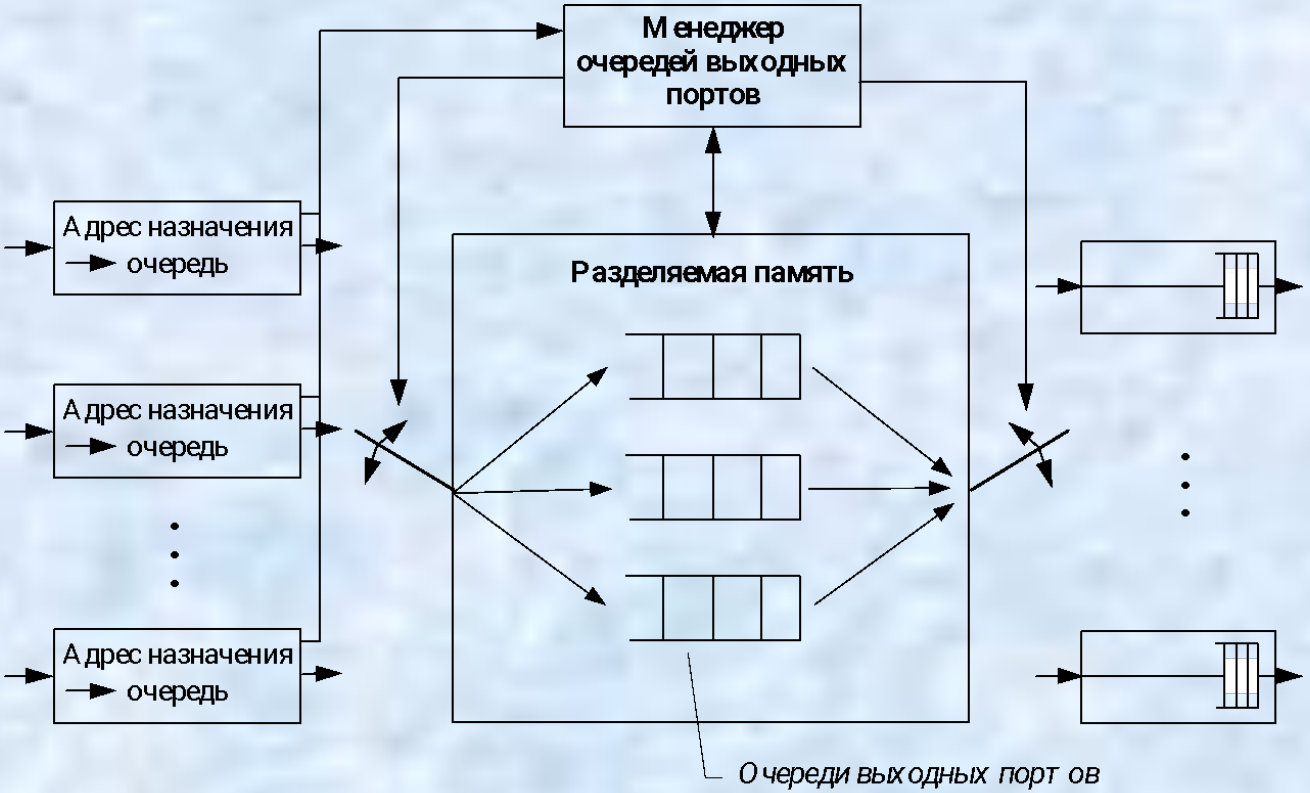
Реализация коммутаторов

2. Общая шина



Реализация коммутаторов

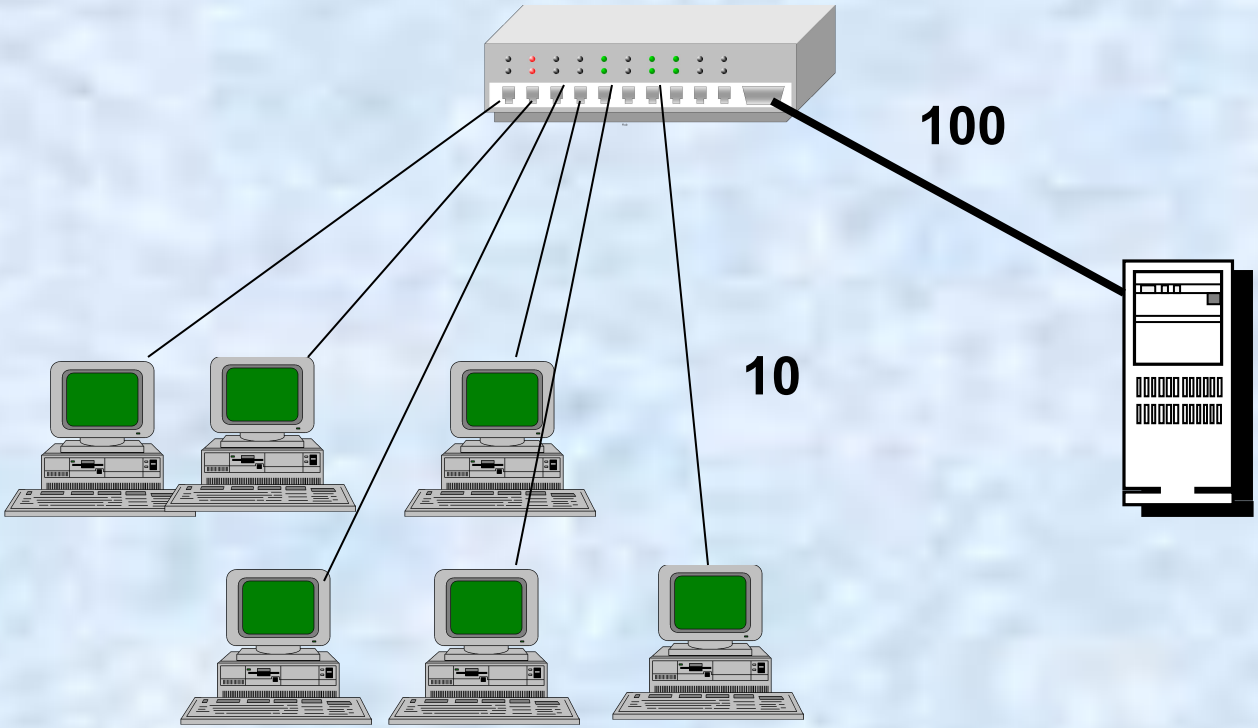
3. Разделяемая память



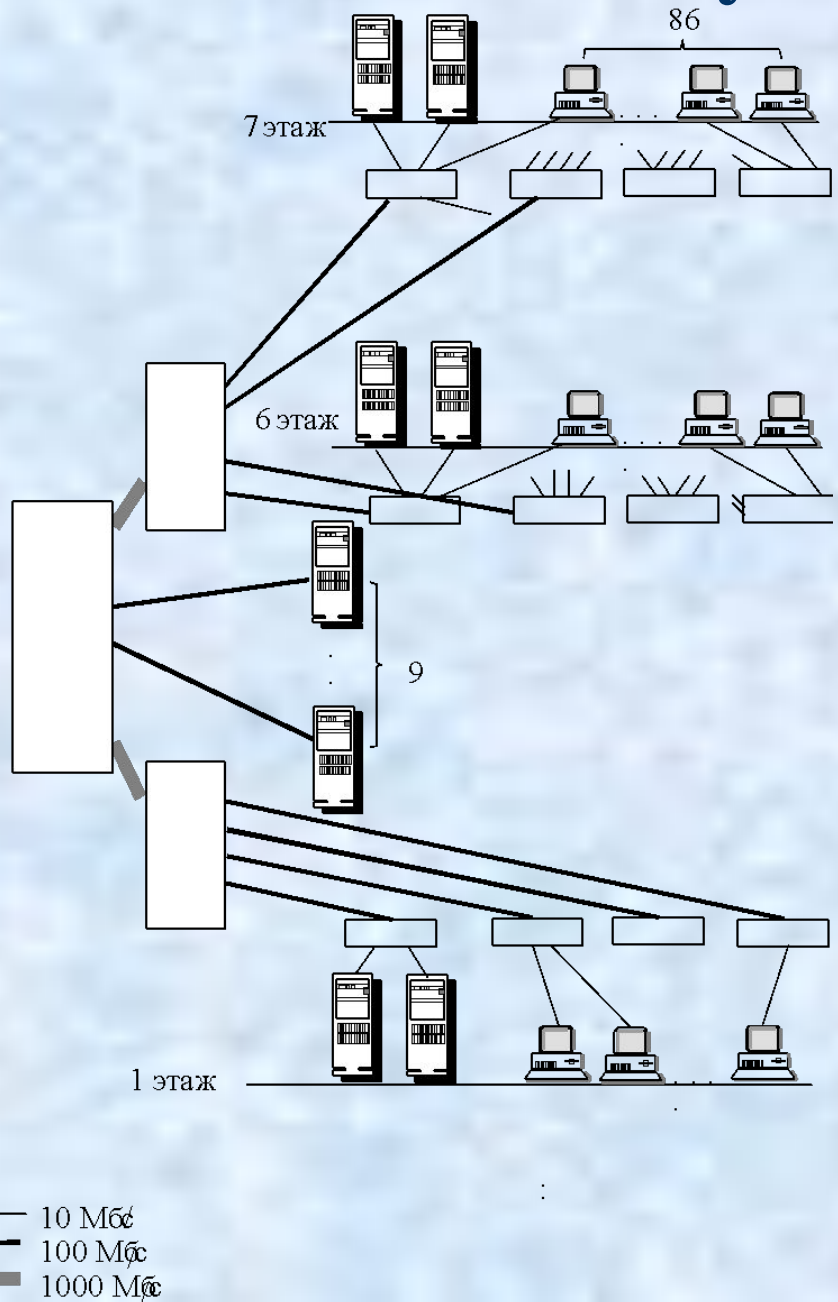
Реализация коммутаторов

4. Комбинированный подход

Применение коммутаторов в рабочих группах

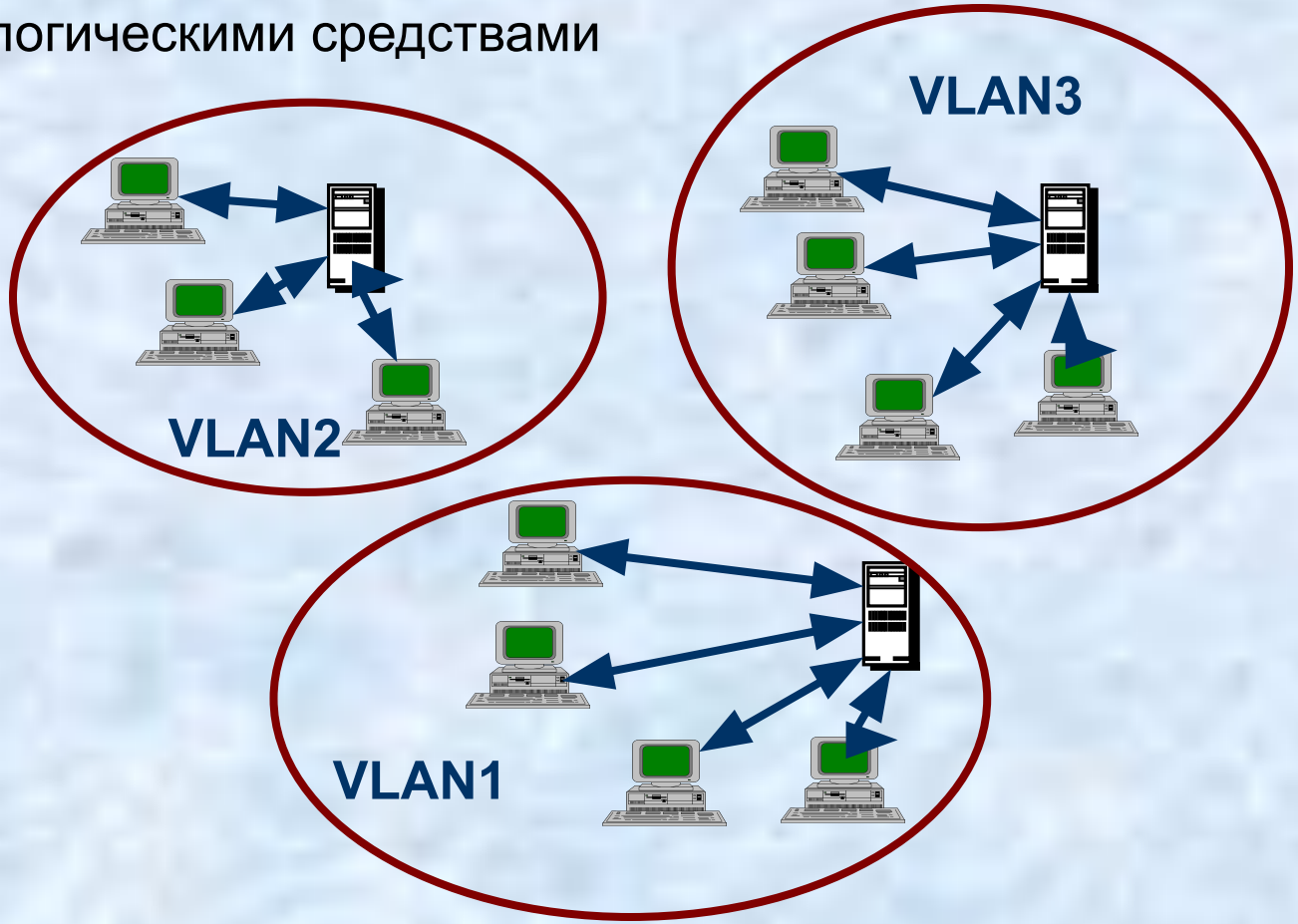


Сеть здания на коммутаторах



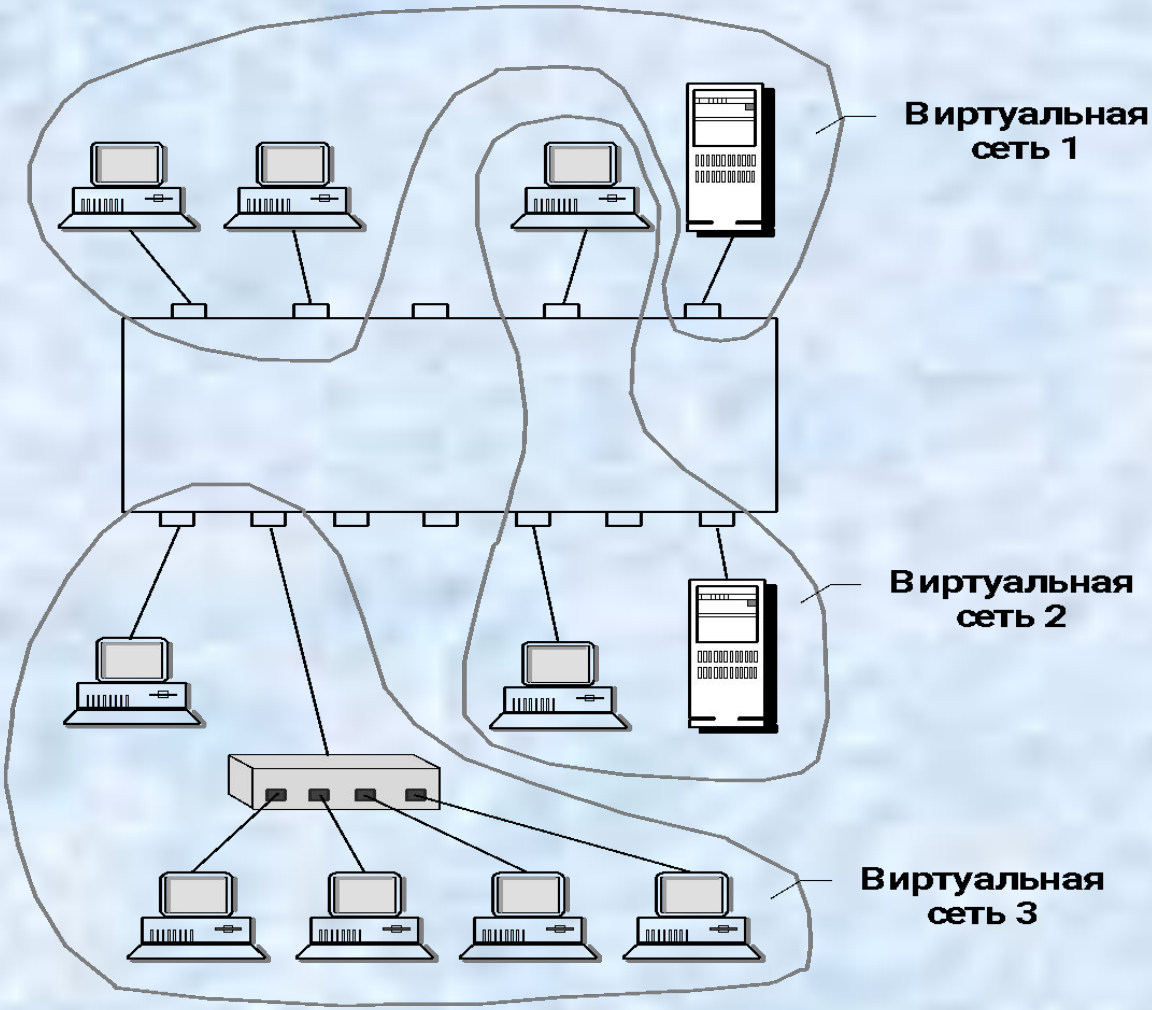
Виртуальные локальные сети Virtual LAN, VLAN

Цель: построение полностью изолированных подсетей логическими средствами



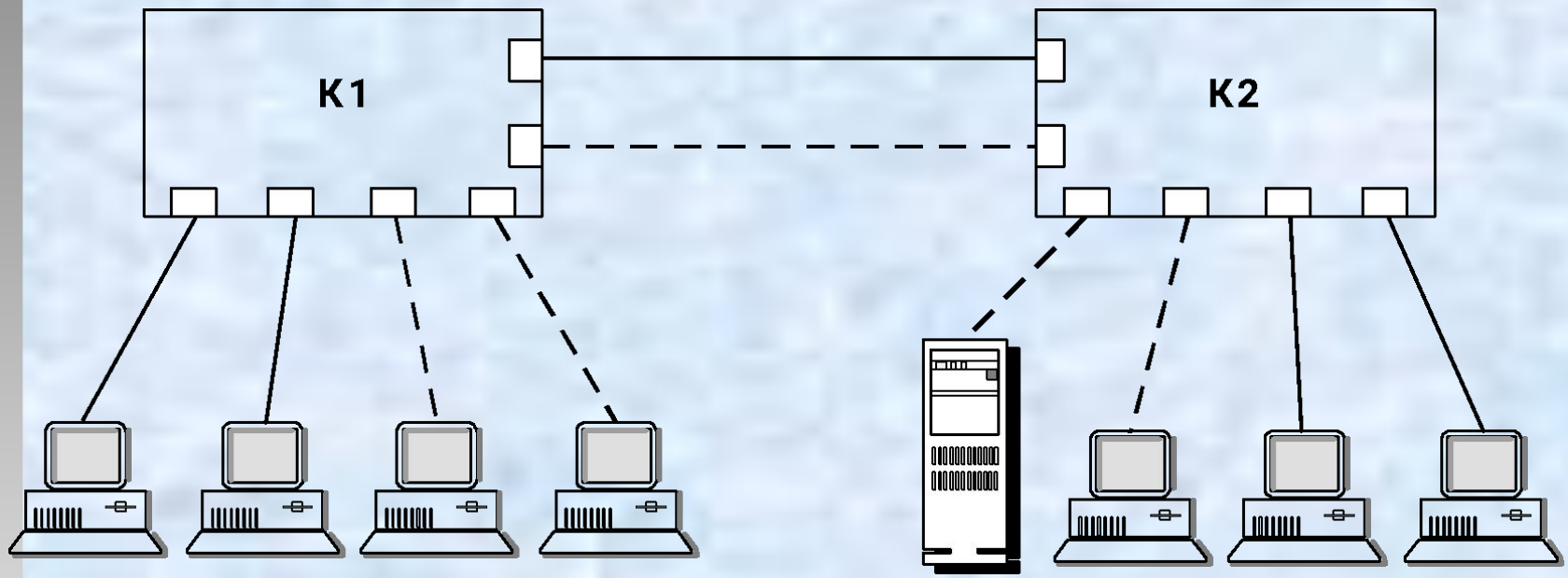
VLAN – домен распространения бродкастов

VLAN на одном коммутаторе



Задание VLAN – группировка портов

VLAN на нескольких коммутаторах

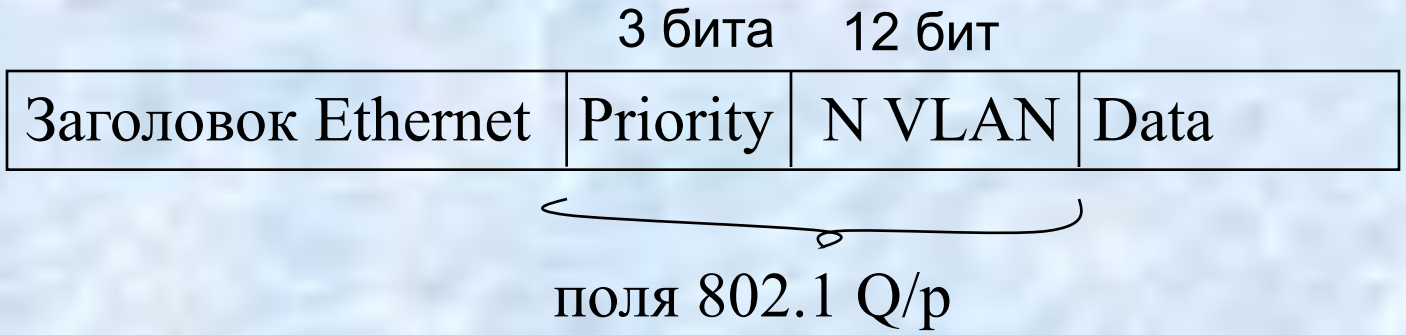


Проблема задания VLAN на нескольких коммутаторах с помощью группировки портов:
сколько VLAN – столько портов для межсоединений

VLAN на нескольких коммутаторах

Способы решения проблемы:

1. Группировка MAC-адресов – большой объем ручной работы в крупных сетях
2. Использование меток:
   - Фирменные решения
   - Стандарт IEEE 802.1 Q/p



Сетевые адаптеры

1. Gigabit Ethernet TP - $200
2. Gigabit Ethernet FO - $450
3. 10/100 TP – $20-30

Концентраторы

1. Рабочие группы – 10 Мбит/с, standalone, $8-10 за порт
2. Рабочие группы – 100 Мбит/с, standalone, $15-20 за порт
3. Стековые – 10 Мбит/с,

Коммутаторы 2 уровня

1. 10 Мбит/с Standalone – $20-30
2. 10/100 TP Standalone – $30 – 50
3. Стековые 10/100 - $50 -100

Коммутаторы 3 уровня

- Порты 10/100 TP с поддержкой QoS – $250 – 300
- Порты GE TP - $1000
- Порты GE SX - $2000

Вопросы к теме 4

1. Имеются ли отличия в работе сетевых адаптерах, соединяющих компьютер с коммутатором или с мостом, или с концентратором?
2. Как концентратор поддерживает резервные связи?
3. Приведите примеры дополнительных функций концентратора, для выполнения которых концентратору требуется информация протоколов более высоких уровней, чем физический?
4. Чем модульный концентратор отличается от стекового?
5. Почему для соединения концентраторов

Вопросы к теме 4

6. Каким образом мост/коммутатор строит свою внутреннюю таблицу?
7. Что произойдет, если во время работы моста/коммутатора произойдет реконфигурация сети, например, будут подключены новые компьютеры?
8. О чем говорит размер внутренней адресной таблицы моста? Что произойдет если таблица переполнится?
9. Можно ли утверждать, что у любого моста скорости продвижения не выше скорости фильтрации?
10. Что нужно сделать администратору сети, чтобы мосты, не поддерживающие алгоритм Spanning Tree, правильно работали в сети с петлями?
11. Что произойдет, если в сети, построенной на концентраторах, имеются замкнутые контуры ?

    (A) Сеть будет работать нормально

    (B) Кадры не будут доходить до адресата

    (C) В сети при передаче любого кадра будет возникать коллизия

    (D) Произойдет зацикливание кадров